

Tesis defendida por
Mirayana Marcelino Barros
Y aprobada por el siguiente comité

Dr. Axayácatl Rocha Olivares
Director del Comité

Dr. Juan Carlos Herguera García
Miembro del Comité

Dra. Meritxell Riquelme Pérez
Miembro del Comité

Dra. María Lucila del Carmen Lares Reyes
*Coordinador del programa de posgrado en
Ecología Marina*

Dr. David Hilario Covarrubias Rosales
Director de Estudios de Posgrado

8 de febrero de 2013.

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA**



Programa de Posgrado en Ciencias
En Ecología Marina

Caracterización de la meiofauna del océano profundo del Golfo de México.

Tesis

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Mirayana Marcelino Barros

Ensenada, Baja California, México
2013

Resumen de la tesis de Mirayana Marcelino Barros, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

Caracterización de la meiofauna del océano profundo del Golfo de México.

Resumen aprobado por:

Dr. Axayácatl Rocha Olivares

El objetivo del presente estudio fue caracterizar la meiofauna béntica del océano profundo en el Golfo de México, así como establecer posibles patrones de distribución espacial (a lo largo del Golfo) y vertical (dentro del sedimento) para la meiofauna, y en particular para la nematofauna. Se recolectaron muestras para análisis faunísticos a diferentes profundidades variando entre los 1233 y los 3739 m. Las muestras, 18 en su totalidad, fueron recolectadas en dos campañas oceanográficas: XIXIMI-1 (noviembre 2010) y XIXIMI-2 (julio 2011). Además, muestras para analizar carbono orgánico y granulometría fueron recolectadas en la campaña XIXIMI-1 (siete estaciones). Los resultados mostraron la presencia de una comunidad meiofaunal abundante y diversificada en comparación con otros estudios del océano profundo. La composición taxonómica, es decir, los grupos meiofaunales, incluyendo los diferentes géneros de nemátodos, fueron típicos de océano profundo. Nematoda, con un total de 71 géneros, fue el grupo más abundante de la meiofauna en todas las estaciones. Los patrones de distribución vertical de la meiofauna/nematofauna (diversidad y abundancia) estuvieron influenciados por la profundidad dentro del sedimento, con mayores valores en los niveles superficiales y disminuyendo hacia los estratos sedimentarios más profundos. Por otro lado, la diversidad de la nematofauna (S y d) así como la abundancia total (N) de la meiofauna estuvieron influenciadas por la profundidad de la columna de agua en las estaciones. Los parámetros abióticos analizados en el presente estudio (% carbono orgánico y granulometría) parecen no estar correlacionados con la estructuración de la meiofauna y nematofauna en nuestras muestras. Finalmente, el presente estudio contribuyó para el conocimiento de la meiofauna y nematofauna del océano profundo del Golfo de México, el cuál es todavía un ambiente poco conocido. Además, los datos generados en ese trabajo servirán de base para estudios futuros en la región.

Palabras Clave: océano profundo, meiofauna, nemátodos, distribución vertical, distribución espacial, Golfo de México

Abstract of the thesis presented by Mirayana Marcelino Barros as a partial requirement to obtain the Master in Science degree in Marine Ecology.

Characterization of deep-sea meiofauna of the Gulf of Mexico.

Abstract approved by:

Dr. Axayácatl Rocha Olivares

The goals of this study were to characterize the deep-sea benthic meiofauna in the Gulf of Mexico as well as to establish possible patterns of spatial (along the Gulf) and vertical distribution (in the sediment) for the meiofauna, and in particular for the nematofauna. Samples for faunal analyses were collected at different depths, ranging from 1233 to 3739 m. A total of 18 samples were collected in two oceanographic cruises, XIXIMI-1 (November 2010) and XIXIMI-2 (July 2011). In addition, samples for organic carbon and sediment composition analyses were also collected in the XIXIMI-1 campaign (7 sites). The results showed an abundant and diverse meiofaunal community in all sampled sites, when compared to other deep-sea studies. Meiofauna groups and nematode genera identified in this study are common in other deep-sea areas. Nematoda, with a total of 71 genera, was the most representative group of the benthic meiofauna, dominating all sites. Patterns of vertical distribution of meiofauna/nematofauna (density and diversity) were influenced by sediment depth, showing higher values in the superficial levels and decreasing towards the deeper strata. On the other hand, the nematofauna diversity (S and d) as well as total meiofauna abundance (N) was spatially influenced by water depth. The abiotic parameters analyzed in the present study (*i.e.* % organic carbon and sediment composition) were not correlated with the structure of the meiofauna in our study area. Finally, this work has contributed to the knowledge of the deep sea meiofauna and nematofauna in the Gulf of Mexico, which is still poorly understood. Moreover, this information can further used as baseline for future ecological studies in the region.

Keywords: deep-sea, meiofauna, nematodes, vertical distribution, spatial distribution, Gulf of Mexico

“Un hombre necesita viajar por su propia cuenta, no a través de historias, fotos, libros y televisión, necesita viajar por sí mismo, con los ojos y los pies, para así comprender lo que es suyo...”

(Amyr Klink)

Dedicatorias

Dedico esta tesis a las personas más importantes de mi vida, mi familia: mi mamá Liete, mi hermana Djamila, mi sobrino Miguel y mi segunda mamá Inha, por constituirse diferentemente como persona, igualmente bellas y admirables en esencia, estímulos que me arrojaron a buscar vida nueva a cada día. Les doy gracias por haber aceptado privarse de mi compañía por mis estudios, concediéndome la oportunidad de realizarme todavía más. ¡Las amo, sin límites y sin fronteras!

A mi esposo Tiago, que siempre estuvo a mi lado, enseñándome a querer más, a ser persistente, soñadora y enseñando que el mundo está al alcance de mis manos. Muchas gracias por su comprensión, palabras de conforto, incentivo, ideas y sobre todo por compartir tu vida conmigo. Siempre estaré a tu lado, apoyándote, oyéndote, celebrando por tu éxito y por sobre todo, amándote incondicionalmente.

En especial dedico mi tesis a mí amado hijo Arthur, mi bien más precioso, que estuvo a mi lado durante todo el proceso de construcción, desde el vientre hasta sus primeros meses de vida. Su energía, su inocencia y su maravilloso desarrollo me incentivaron y animaron para seguir adelante. Que Dios lo bendiga.

¡Mil gracias por apoyarme siempre, los amo mucho!

Agradecimientos

La trayectoria de esta maestría fue la oportunidad de encuentros con personas que conmigo se comprometieron, transmitiéndome conocimiento, fuerza, amistad y respeto. Me gustaría agradecer en especial:

Al Dr. Axayácatl Rocha Olivares, profesional de gran competencia, que supo cómo direccionarme en esa caminata, transmitiendo todo su conocimiento, muchas veces de manera paciente y comprensible y con una excelente calidad. ¡Muchas gracias por todo!

A mi comité de tesis, Dra. Meritxell y Dr. Juan Carlos, que tan amablemente se propusieron a contribuir para la mejoría del presente estudio, con todo su apoyo y orientación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT), por proporcionarme la beca de estudios durante el período en que estuve en CICESE.

A toda la familia CICESE, técnicos, trabajadores de los diferentes departamentos, maestros e investigadores, por ser mi casa durante estos 2.5 años.

A mi gran amiga Elizabeth Gahona Abalos, una hermana que encontré por el camino de la cual jamás me separaré, sin importar dónde estemos. Muchas gracias por su amistad y apoyo constante para que pudiera vencer más esta etapa de mi vida tanto personal como profesional. Contigo las pausas entre un párrafo y otro mejora todo lo que he producido en mi vida. ¡Juntas hasta el final “Macaquinha”!

A mi gran amigo Pablo, por compartir su vida conmigo, por las buenas risas entre una Bufadora y otra. Muchas gracias Pablo. ¡Lo esencial es vivir!

A mis compañeros del laboratorio de ecología molecular (LabEcoMol), los que estuvieron y los que aún siguen presentes: Abi, Ana, Erick, Francesco, Geo, Jorge, Nancy. Muchas gracias por su compañerismo por los cambios de ideas e ideales.

A mis compañeros de maestría: Miriam, Tannia, Raquel, Emiliano que contribuyeron directa o indirectamente para la construcción de mi vida profesional, siempre dándome fuerza y proporcionando momentos increíbles.

A todas las personas, familiares, amigos y profesionales que de alguna manera contribuyeron en mi trayectoria, y a los que vibraron por mi éxito y que me apoyaron tanto personal cuanto profesionalmente.

Agradezco a la vida, porque “A veces, cuando toso sale mal pasan cosas tan maravillosas que jamás habrían pasado si todo hubiera salido bien”.

¡Les agradezco a todos!

Contenido

Resumen español	i
Resumen inglés	ii
Epígrafe	iii
Dedicatorias	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras	x
Lista de tablas	xiii
1. Introducción	1
2. Antecedentes	8
2.1 Meiofauna de océano profundo	8
2.2 Estudios sobre la meiofauna del Golfo de México.....	10
3. Hipótesis de trabajo.....	12
4. Objetivos	13
4.1 Objetivo general	13
4.2 Objetivos Particulares	13
5. Metodología	14
5.1 Área de estudio.....	14
5.2 Muestreo	14
5.3 Procesamiento de las muestras	16
5.3.1 Separación de los organismos del sedimento	16
5.3.2 Identificación de la meiofauna.....	19
5.3.2 Procesamiento de las muestras abióticas	20
5.4 Análisis de datos.....	20
6. Resultados	23
6.1 Meiofauna.....	23

6.1.1 Abundancia y composición de la meiofauna de las muestras recolectadas en el crucero XIXIMI-1.....	23
6.1.1.1 Abundancia	23
6.1.1.2 Composición de la meiofauna.....	24
6.1.1.3 Distribución vertical.....	26
6.1.1.4 Distribución espacial.....	28
6.1.2 Abundancia y composición de la meiofauna de las muestras obtenidas en el crucero XIXIMI-2.....	30
6.1.2.1 Abundancia	30
6.1.2.2 Composición de la meiofauna.....	31
6.1.2.3 Distribución vertical.....	34
6.1.2.4 Distribución espacial.....	36
6.1.3 Variación temporal de la estructura meiofaunal: XIXIMI-1 vs. XIXIMI-2.....	38
6.1.3.1 Abundancia	38
6.1.3.2 Composición de la meiofauna.....	38
6.1.3.3 Distribución vertical.....	40
6.2 Nematofauna	41
6.2.1 Abundancia y diversidad del crucero XIXIMI-1	41
6.2.1.1 Distribución vertical.....	49
6.2.1.1.1 Abundancia.....	49
6.2.1.1.2 Número de géneros.....	49
6.2.1.1.3 Equitabilidad	52
6.2.1.1.4 Diversidad	53
6.2.1.2 Distribución espacial.....	54
6.3. Parámetros ambientales.....	57
6.3.1 Granulometría.....	57
6.3.2 Carbono orgánico.....	62
6.3.3 Ordenamiento de parámetros ambientales.....	64
7. Discusión.....	69
7.1 Abundancia.....	69

7.1.1 Distribución espacial de la meiofauna y nematofauna	69
7.1.2 Distribución vertical de la meiofauna y nematofauna	71
7.2 Diversidad	74
7.2.1 Meiofauna	74
7.2.1.1 Distribución espacial	74
7.1.1 Nematofauna	75
7.1.1.1 Distribución Espacial	75
7.1.1.2 Distribución Vertical	79
7.3 Variación temporal	81
Conclusiones	84
Referencias Bibliográficas	87
Apéndice	98

Lista de figuras

Figura 1. Mapa del Golfo de México con las estaciones del área de estudio.	15
Figura 2. Esquema del método de flotación según Somerfield y Warwick (1996).	18
Figura 3. Abundancia de la meiofauna en las siete estaciones del Golfo de México muestreadas en el crucero XIXIMI-1.	23
Figura 4. Composición de la meiofauna recolectada en la campaña XIXIMI-1. a, Composición total de la meiofauna; b, Composición de la meiofauna en las siete estaciones.	25
Figura 5. Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) para los datos derivados de la meiofauna, evidenciando las diferencias entre las densidades (inds.10 cm ⁻²) de los grupos meiofaunales más abundantes en las siete estaciones muestreadas en XIXIMI-1 en el Golfo de México.....	26
Figura 6. Distribución vertical de la meiofauna en las siete estaciones recolectadas en XIXIMI-1 en el Golfo de México.....	27
Figura 7 a-b. a Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) para los datos de abundancia de la meiofauna de las siete estaciones del Golfo de México. b Mapa del área de estudio con las siete estaciones recolectadas en la campaña XIXIMI-1 en el Golfo de México.	28
Figura 8 a-b. Análisis de escalamiento multidimensional para los datos derivados de la composición de la meiofauna de las siete estaciones muestreadas en el Golfo de México durante la campaña XIXIMI-1. a, símbolos representan las estaciones (distribución espacial); b, símbolos representan niveles dentro del sedimento (distribución vertical)....	29
Figura 9. Abundancia de la meiofauna en las once estaciones del Golfo de México muestreadas en el crucero XIXIMI-2.	31
Figura 10. Composición de la meiofauna recolectada en la campaña XIXIMI-2. a, Composición total de la meiofauna; b, Composición de la meiofauna en las once estaciones.	32
Figura 11. Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) para los datos derivados de la meiofauna, evidenciando las diferencias entre las densidades (inds.10 cm ⁻²) de los grupos meiofaunales más abundantes en las once estaciones muestreadas en XIXIMI-2 en el Golfo de México.....	33

Figura 12. Distribución vertical de la meiofauna en las once estaciones recolectadas en XIXIMI-2 en el Golfo de México.	35
Figura 13. a, Análisis de proximidad (MDS) para los datos derivados de la meiofauna de las once estaciones del Golfo de México. b, Mapa del área de estudio con las estaciones recolectadas en la campaña XIXIMI-2 en el Golfo de México.	36
Figura 14. Análisis de escalamiento multidimensional para los datos derivados de la composición de la meiofauna de las once estaciones muestreadas en el Golfo de México durante la campaña XIXIMI-2. a, símbolos representan las estaciones (distribución espacial); b, símbolos representan niveles dentro del sedimento (distribución vertical); c, distribución espacial de acuerdo a los niveles (énfasis a los primeros niveles de 0-4 cm).	37
Figura 15. Abundancia de la meiofauna en las 3 estaciones repetidas en las campañas XIXIMI-1 y XIXIMI-2 en el Golfo de México.	38
Figura 16. Composición total de la meiofauna recolectada en las campañas XIXIMI-1 y XIXIMI-2 en el Golfo de México.	39
Figura 17. Distribución vertical de la meiofauna en las estaciones repetidas en las campañas XIXIMI-1 y XIXIMI-2 en el Golfo de México.	40
Figura 18. Análisis de proximidad (MDS) para los datos derivados de la meiofauna de las estaciones recolectadas en las campañas XIXIMI-1 y XIXIMI-2 en el Golfo de México.	41
Figura 19. Abundancia y contribución de la nematofauna. a, Abundancia total de la nematofauna en las siete estaciones del Golfo de México muestreadas en el crucero XIXIMI-1. b, Contribución de la nematofauna y otros grupos para la composición de la meiofauna recolectada en la campaña XIXIMI-1 en el Golfo de México.	42
Figura 20. Géneros encontrados en la nematofauna recolectada en la campaña XIXIMI-1. a, Composición total de la nematofauna; b, Composición de la nematofauna en las siete estaciones.	48
Figura 21. Distribución vertical de la abundancia de la nematofauna en las siete estaciones recolectadas en XIXIMI-1 en el Golfo de México.	50
Figura 22. Distribución vertical del número de géneros lo largo de las siete estaciones recolectadas en XIXIMI-1 en el Golfo de México.	51
Figura 23. Distribución vertical de la equitabilidad en las siete estaciones recolectadas en XIXIMI-1 en el Golfo de México.	53
Figura 24. Distribución vertical de la diversidad de Shannon-Wiener en las siete estaciones recolectadas en XIXIMI-1 en el Golfo de México.	54

Figura 25. a, Análisis de proximidad (MDS) para los datos derivados de la nematofauna de las siete estaciones del Golfo de México. b, Mapa del área de estudio con las estaciones recolectadas en la campaña XIXIMI-1 en el Golfo de México.....	55
Figura 26. Análisis de proximidad para los datos derivados de la composición de la nematofauna de las siete estaciones muestreadas en en Golfo de México durante la campaña XIXIMI-1. a, símbolos representan las estaciones (distribución espacial); b, símbolos representan niveles dentro del sedimento (distribución vertical); c distribución espacial de acuerdo a los niveles (énfasis a los primeros niveles de 0-4 cm).....	56
Figura 27. Composición granulométrica de las siete estaciones muestreadas en la campaña XIXIMI-1 a lo largo del Golfo de México.	58
Figura 28. Composición granulométrica vertical (por niveles) de las siete estaciones muestreadas en la campaña XIXIMI-1 a lo largo del Golfo de México.	61
Figura 29. Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) para los datos granulométría de las siete estaciones del Golfo de México.	62
Figura 30. Porcentaje de Carbono Orgánico en el sedimento en cada una de las siete estaciones muestreadas durante la campaña XIXIMI-1.....	63
Figura 31. Perfil vertical del porcentaje de Carbono Orgánico en las siete estaciones muestreadas en la campaña XIXIMI-1 a lo largo del Golfo de México.	64
Figura 32. Ordenación por el análisis de componentes principales (PCA) de los parámetros abióticos en las siete estaciones muestreadas en la campaña XIXIMI-1 a lo largo del Golfo de México.	65
Figura 33. Número de géneros de nemátodos en función de la profundidad en las 7 estaciones muestreadas en XIXIMI-1 a lo largo del Golfo de México.....	66
Figura 34. Riqueza de especie de la nematofauna en función de la profundidad en las 7 estaciones muestreadas en XIXIMI-1 a lo largo del Golfo de México.....	67
Figura 35. Abundancia de la meiofauna en función de la profundidad en las 11 estaciones muestreadas en XIXIMI-1 y XIXIMI-2 a lo largo del Golfo de México.....	67

Lista de tablas

Tabla 1. Localización, fechas de muestreo y profundidad de las estaciones que se recolectaron durante las campañas oceanográficas XIXIMI-1 y XIXIMI-2 a bordo del <i>BO Justo Sierra</i>	16
Tabla 2. Total de nemátodos presentes en los diferentes niveles de las muestras recolectadas en el crucero XIXIMI-1 y su respectivo 10% utilizado en la identificación hasta nivel genérico.....	19
Tabla 3. Composición de la nematofauna por familia y género en las siete estaciones muestreadas en el Golfo de México durante la campaña XIXIMI-1. Número de individuos encontrados en un 10% de la muestra; Número total de Individuos estimados en todas las estaciones (N) y su densidad estandarizada (D, Inds. 10 cm ⁻²).....	44
Tabla 4. Índices univariados de las siete estaciones calculados a partir de la nematofauna muestreada en la campaña XIXIMI-1 en el Golfo de México. Número de géneros (S), Número de individuos (N), Riqueza de especies (d), Equitabilidad (J'), Diversidad de Shannon-Wiener (H').	46
Tabla 5. Comparación de los índices univariados (N, S, d, H'(log ₂) y J') entre Grupo 1 (E15, E27 y E40) y Grupo 2 (E3, E36, E35 y E43) a través de la prueba t-student. Valores de T y de significancia (*P < 0.05, **P < 0.005, ***P < 0.0005, - P > 0.05) son presentados.....	47
Tabla. 6 Valores promedios del tamaño medio del grano (µm) del sedimento por nivel con su respectiva clasificación (Clasif.) para las estaciones de la campaña XIXIMI-1.	58
Tabla. 7 Composición granulométrica del sedimento por nivel con su respectiva clasificación (Clasif.) para las estaciones de la campaña XIXIMI-1.....	59
Tabla 8. Resultado de correlaciones entre la estructura de la meiofauna y los parámetros abióticos. Valores de significancia (p) y el coeficiente de correlación (r).....	68

1. Introducción

En las diferentes áreas de la biología, la determinación de la diversidad de nuestro planeta ha sido el gran reto, debido a que la identificación de las especies es el punto clave en cualquier estudio ecológico y evolutivo (Derycke *et al.* 2008). Como Lamshead y Boucher (2003) sugieren, los seres humanos siempre están buscando hacer “colecciones de sus curiosidades”, utilizando muestreos sistemáticos como una herramienta para comprender el mundo natural. Tal actividad surgió de la necesidad de contestar preguntas fundamentales tales como: ¿Cuál es la diversidad biológica en la Tierra? ¿Por qué algunos grupos taxonómicos, regiones biogeográficas o hábitats ecológicos son más diversos que otros? Preguntas como esas son de gran valor en el ámbito científico, dado que el planeta donde vivimos no es fijo e ni inmutable. Necesitamos saber qué puede pasar con la Tierra y su biodiversidad, si la actividad humana tiene alguna relación con los cambios que ha sufrido, cuáles van a ser las consecuencias de los cambios, y lo más importante, si podemos hacer algo al respecto.

El océano profundo cubre una extensa porción (casi dos tercios) de la superficie terrestre, sin embargo los procesos que rigen y mantienen la diversidad de las especies en el océano profundo son muy poco conocidos (Netto *et al.* 2005). Hábitats someros (lo que se refiere a la zona intermareal y submareal, hasta 200 metros) cubren apenas el 9% de la superficie marina terrestre; los otros 91%, entre 200 y 4000 m de profundidad, representa el ambiente que consideramos como océano profundo (Miljutin *et al.* 2010). Este último abarca extensos hábitats, como el talud continental (12% de la superficie del fondo) y planicies abisales o cuencas (60%). En las últimas décadas, los estudios realizados en el océano profundo han aumentado significativamente y algunos patrones de abundancia y diversidad parecen haber surgido, sin embargo sólo una pequeña fracción de ese ambiente tan poco conocido ha sido explorada.

El fondo del océano profundo ha sido considerado un ambiente relativamente homogéneo en gran escala geográfica, e incluye extensas áreas de sedimentos blandos y bien oxigenados en la superficie (Tyler 2003). Características ambientales relacionadas a la

profundidad del océano, como por ejemplo, la entrada de alimento, la hidrodinámica y, ocasionalmente, la composición del sedimento, son considerados factores importantes para determinar la biomasa, biodiversidad y composición de la comunidad bentónica (Grassle 1989; Gage y Tyler 1991).

El conocimiento y comprensión de la biodiversidad en aguas profundas aumentó considerablemente en los últimos años. Proyectos de gran escala, como es el caso del Census of Marine Life (CoML) (<http://www.coml.org>), son responsables de impulsar el desarrollo científico enfocado a esos ambientes. Contrario a lo que se propuso hace solamente 50 años, cuando se sugirió que el fondo del océano profundo se trataba de un desierto, ese ambiente es en realidad un mosaico de hábitats diferentes (Miljutin *et al.* 2010). Además de los grandes hábitats del océano profundo (p.ej. plataforma continental, talud continental, planicies abisales o cuencas, trincheras, cañones y canales) existen también aquellos no tan extensos, considerados hábitats locales, como por ejemplo las ventilas hidrotermales, ventilas frías, volcanes, zonas mínima de oxígeno, arrecifes de corales de agua fría, y nódulos de manganeso, entre otros (Tyler 2003).

El interés creciente en estos ambientes particulares del océano profundo, así como el avance de la tecnología, han facilitado el muestreo directo de esos hábitats, algo muchas veces imposible con las técnicas tradicionales de muestreo (Vanreusel *et al.* 2010). La existencia y la complejidad de todos esos hábitats poco conocidos en el océano profundo fomenta la necesidad de estudios futuros, los cuales generarán información nueva acerca de sus comunidades específicas. Los cambios en la composición de la fauna más allá de la plataforma continental han fascinado a los ecologistas desde hace más de un siglo. Sin embargo, en muchos casos los patrones encontrados son difíciles de explicar, y por lo tanto son ignorados (Wei *et al.* 2010).

La biodiversidad del océano profundo sigue siendo muy poco conocida; se estima que apenas un 1% de las especies marinas del océano profundo han sido descritas (Gibson *et al.* 2002). El bentos es un componente importante dentro del ecosistema marino por su papel en los procesos primarios y los ciclos biogeoquímicos, participando en el

reciclamiento de materiales en la interfase agua-sedimento (Escobar-Briones *et al.* 2008). La mayoría de los estudios de diversidad bentónica se basan en los organismos de la macro (organismos entre 0.5 y 1.0 mm) y megafauna (organismo mayores de 1.0 mm). Por lo general, esos estudios han mostrado que la macrofauna posee una baja riqueza de especies. Por otro lado, los pocos estudios relacionados al meiobentos, en particular acerca de los nemátodos marinos, han revelado una fauna diversa (Vanreusel *et al.* 2010; Sharma *et al.* 2012). La meiofauna comprende organismos metazoarios que pueden ser distinguidos de la macrofauna por su tamaño diminuto, quedando retenidos en un tamiz con luz de malla entre 0,5 y 0,042 mm, y que viven en íntima relación con el sedimento bentónico (Mare, 1942). Recientemente los meiobentólogos del océano profundo han sugerido un límite inferior de 0.032 mm, con el objetivo de retener una mayor cantidad de organismos, incluyendo los más diminutos (principalmente nemátodos) (Giere, 1993). Sin embargo, la definición de meiofauna es meramente operativa, dado que de ninguna manera representa un grupo ecológico y taxonómico homogéneo, puesto que hay una gran diversidad de microhábitats donde diferentes organismos meiofaunales pueden vivir.

Por lo general, en la mayoría de los ambientes marinos la biomasa de la meiofauna es inferior a la de la macrofauna; sin embargo, debido a su mayor tasa de renovación, el meiobentos cumple un papel considerablemente mayor en la transferencia de energía en el sedimento. De esta manera, los requerimientos metabólicos de la meiofauna podrían ser superiores a los de la macrofauna, principalmente en los ecosistemas donde la razón de biomasa macrofauna-meiofauna se aproxima o es inferior a 5:1 (Gerlach 1971; Giere 2009). Siendo así, el papel de la meiofauna puede llegar a ser equivalente o incluso mayor a aquél de la macrofauna en la bioenergética del sistema bentónico. Comparaciones entre la biomasa y la respiración de la meio y macrofauna sugieren que la primera presenta una mayor tasa de flujo de carbono a través de la red trófica en comparación con la mega y macrofauna (Baguley *et al.* 2008; Rowe *et al.* 2008). La meiofauna muestra una mayor abundancia numérica y diversidad que la macrofauna. Además, la biomasa de la comunidad meiofaunal domina a la mega y macrofauna conforme aumenta la profundidad (Rex y Etter 2010).

La diversidad de la comunidad meiofaunal depende del número de taxones que la componen y también de la abundancia relativa de cada uno. Por lo tanto, la identificación de esos organismos es de suma importancia para el estudio de su estructura faunística (Danovaro *et al.* 2009). Estudios realizados en el océano profundo señalan que la estructura de la comunidad meiofaunal es comparable a nivel global, y está dominada en general por los nemátodos (80%-90%), seguidos de los copépodos harpacticoideos y poliquetos (Danovaro *et al.* 2000; Tselepides y Lampadariou 2004; Netto *et al.* 2005; Gambi y Danovaro 2006; Danovaro *et al.* 2008).

Estudios de zonación (de la plataforma continental hacia profundidades mayores) en el océano profundo toman en cuenta principalmente los patrones generales de las comunidades megafaunales (Hecker 1990; Cartes y Carrassón 2004; Wei y Rowe 2009) o la distribución y abundancia de un grupo en particular, como los peces (Jacob *et al.* 1998), crustáceos (Cartes 1993; Wicksten y Packard 2005) y equinodermos (Howell *et al.* 2002). Estudios referentes a la zonación de la comunidad meiofaunal son relativamente escasos y en su mayoría se refieren a un taxón individual, principalmente los nemátodos marinos. Se ha sugerido que los patrones de zonación horizontal se encuentran determinados por las condiciones físicas o químicas de las áreas geográficas (Hecker 1990).

La exploración de los hábitats de océano profundo ha sido acompañada por el descubrimiento de nuevas comunidades faunísticas. La riqueza de especies en esas comunidades supera todas las expectativas científicas, en especial la alta diversidad de los nemátodos marinos (Miljutin *et al.* 2010). De esa forma, se considera que el océano profundo posee una comunidad sorprendentemente diversificada, y, actualmente, es imposible evaluar la verdadera extensión de tal diversidad, así como saber qué es lo que los estudios futuros revelarán acerca de la comunidad meiofaunal del océano profundo.

Nematoda es considerado el grupo más abundante dentro los metazoarios (organismos multicelulares). Se estima que el 80%-90% de todos los metazoarios son nemátodos (Boucher y Lambshead 1995a). Dentro de la meiofauna que habitan los sedimentos marinos, la densidad de los nemátodos puede fácilmente sobrepasar 1 millón de

individuos por metro cuadrado (Mokievskii *et al.* 2007). Warwick (1981) afirma que esos valores pueden ser tan altos como 22 millones de individuos por metro cuadrado. Además, Lamshead (1993) estima la existencia de cerca de 1×10^8 especies de nemátodos de vida libre en el océano profundo. Sin embargo, el número de especies de nemátodos descritas es de tan solo 20000, entre las cuales sólo 4000 son nemátodos de vida libre (Rex *et al.* 2001).

El número de especies de nemátodos descritas provenientes del océano profundo es muy bajo comparado con los de las zonas más someras. Dicha discrepancia se debe a las siguientes razones: (1) la nematofauna de aguas someras ha sido intensamente estudiada desde la década de los 80s y 90s, mientras que la nematofauna de océano profundo permaneció poco estudiada en ese mismo período (Miljutin *et al.* 2010); (2) el estudio de la nematofauna de océano profundo tuvo un lento inicio en la comunidad científica debido a la falta de equipos adecuados para la realización del muestreo. De hecho, el muestreo cuantitativo en el océano profundo no fue posible hasta el surgimiento del nucleador de caja y del multinucleador (Lamshead *et al.* 2001); (3) el hecho de que los nemátodos marinos de océano profundo, por lo general, son mucho menores (de 0,5 a 0,03 mm) que los de zonas someras dificultó su estudio e identificación a través del microscopio de luz. Esa limitante se resolvió con el desarrollo de equipamientos más modernos. Así, la taxonomía, aún limitada, de los nemátodos de océano profundo hace difícil el análisis la biodiversidad en muestras provenientes de este ambiente (Miljutin *et al.* 2010); (4) el número limitado de nematólogos marinos desarrollando actividades en el océano profundo.

Por ser el grupo numéricamente dominante de la meiofauna en los sedimentos del océano profundo, los nemátodos tienen un papel importante en los ciclos biogeoquímicos marinos (Aller y Aller 1992; Pike *et al.* 2001). Sin embargo, a pesar de su predominancia numérica, alta diversidad e importancia funcional (Mokievskii *et al.* 2004; Miljutin *et al.* 2010), los estudios sobre este grupo son limitados. Estudios de biodiversidad de nemátodos en el océano profundo, realizados en el Océano Pacífico y Atlántico (Shirayama 1984; Danovaro *et al.* 2009), revelan gradientes tanto latitudinales (Lamshead *et al.* 2002) como relacionados a la profundidad (Soetaert *et al.* 1991; Vanhove *et al.* 2004). De hecho, Danovaro (2008) observó un gradiente de la biodiversidad de nemátodos en el mar

Mediterráneo, relacionado a la producción primaria superficial y a la materia orgánica en los sedimentos.

Los estudios sobre la nematofauna de océano profundo todavía están en la fase de identificación de patrones generales. Siendo así, los patrones de abundancia y diversidad (cuando significativos) son relacionados a propiedades ecológicas, biogeográficas e históricas del ambiente. De esa forma, se pueden desarrollar hipótesis acerca de los mecanismos que controlan la biodiversidad en ese ambiente (Lamshead *et al.* 2001).

Parece ser que la distribución, diversidad y abundancia de nemátodos es afectada por la heterogeneidad del hábitat en el océano profundo, apoyando la idea de que la heterogeneidad del hábitat juega un papel importante en la manutención de la diversidad de especies en dicho ambiente (Levin *et al.* 2001). La alta riqueza de especies y altos valores de abundancia de los nemátodos facilitan la obtención de muestras a partir de pequeños núcleos de sedimento y a tener una buena representación de la comunidad. Eso permite sacar más muestras (pequeñas) facilitando cuestiones de análisis estadísticos (Boucher y Lamshead 1995a). Eso, juntamente con el periodo de vida corto, una estrategia reproductiva conservadora con desarrollo directo (sin fase de larval), el íntimo contacto con el sedimento y a que son sensibles a la exposición de material antrópico, como los contaminantes, hace que los nemátodos sean organismos eficaces para estudios de monitoreo de impactos ambientales (Lamshead y Platt 1988; Warwick *et al.* 1990; Boucher y Lamshead 1995a). Sin embargo, a pesar de su importancia tanto evolutiva como funcional, su ecología permanece muy poco estudiada, especialmente en ambientes como el océano profundo (Miljutina *et al.* 2010). Debido a las dificultades en la identificación de los nemátodos de océano profundo (escasez en descripciones de especies y su tamaño diminuto), la mayor parte de estudios ecológicos de océano profundo se restringe a la identificación de los nemátodos a nivel de familia o género.

Las características que hacen de los nemátodos herramientas útiles para el monitoreo ambiental, también los hace una herramienta valiosa para la investigación de los procesos que determinan la biodiversidad de las comunidades bénticas (Boucher y

Lamshead 1995a). El hecho de que los nemátodos son omnipresentes, puesto que son comunes en cualquier tipo de hábitat sedimentario marino, hace posible evaluar los efectos de diferentes tipos de regímenes ambientales así como los efectos de disturbios antropogénicos en sus comunidades.

El interés en estudiar los nemátodos, desde el punto de vista de la biodiversidad, viene de la oportunidad de lo que podemos aprender a cerca de esos organismos y cuáles son las fuerzas que regulan tales comunidades ecológicas. El estudio de comunidades meiofaunales es relativamente reciente, y muy pocos estudios han examinado la estructura de la nematofauna del océano profundo (Lamshead 1993, 1994).

Esta investigación se enmarca en el proyecto “Establecimiento de línea de base en aguas profundas del Golfo de México en respuesta al derrame petrolero asociado a la plataforma Deepwater Horizon”, a cargo del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE). El objetivo es analizar las comunidades meiofaunales del océano profundo (1233 a 3739 m) en el Golfo de México, así como establecer posibles patrones de distribución espacial (a lo largo del Golfo) y vertical (dentro del sedimento) para la meiofauna, y en particular para la nematofauna. El presente estudio también proporciona datos importantes que servirán como una línea base para trabajos futuros en el área de estudio. Crear una línea base es un paso fundamental para evaluar perturbaciones ambientales como el derrame de petróleo de la plataforma Deepwater Horizon sucedido del 20 de abril al 15 de julio de 2010.

2. Antecedentes

2.1 Meiofauna de océano profundo

La investigación en el océano profundo empezó en el siglo XIX con la expedición del *Challenger*, un estudio que intentó caracterizar el ambiente marino profundo asociando los patrones de distribución y composición de la fauna con las características ambientales. Sin embargo, dicha embarcación estaba solamente equipada con redes de arrastre y dragas para muestrear el fondo marino, equipos que no son adecuados para el muestreo cuantitativo de la infauna, por lo que dichos organismos no fueron recolectados (Miljutin *et al.* 2010).

El interés por la taxonomía y ecología de los organismos de océano profundo tuvo su inicio alrededor de los años 60. Durante ese periodo especies de la meiofauna, principalmente nemátodos, fueron identificados y descritos a lo largo de los océanos. Este periodo fue marcado por dos expediciones (Wigley y McIntyre 1964; Thiel 1966) especialmente dedicadas a la meiofauna del océano profundo. A partir de entonces las embarcaciones de investigaciones pasaron a utilizar equipos especiales para estudios de meiofauna, como multinucleadores y nucleadores tipo caja de diferentes tipos (Higgins y Thiel 1988). Nuevas metodologías para el procesamiento de la meiofauna fueron implementadas, dando énfasis a los organismos de medio y pequeño tamaño. El tamaño de malla utilizado para la extracción de la meiofauna disminuyó en relación a las utilizadas convencionalmente; de 70-100 μm se pasó a utilizar la malla de 40 y 32 μm , eso porque fue confirmado que los organismos de la meiofauna del océano profundo son en general mucho menores que aquellos de aguas someras (Thiel 1975, 1979; Soltwedel *et al.* 1996; Karlina *et al.* 2002; Udalov *et al.* 2005). La intensidad de estudios taxonómicos aumentó después de los cruceros realizados en el océano profundo en la década de los 70s.

A partir del primer congreso oceanográfico internacional en 1959, Estados Unidos aumentó 10 veces el presupuesto para el estudio del mar profundo, que en tan sólo una década obtuvo cambios significativos en el conocimiento de esta región del océano

(Escobar-Briones y Soto 1993). Desde entonces el interés por los estudios del océano profundo han crecido considerablemente, y la comunidad científica reconoció la necesidad de obtener información acerca de este ambiente tan poco conocido.

El primer estudio cuantitativo acerca de la ecología de la meiofauna de océano profundo fue realizado por Wigley y McIntyre (1964) en la parte superior del talud continental de la costa este de Estados Unidos, en el Atlántico Occidental. Posteriormente, se llevaron a cabo otros estudios en otras regiones geográficas, como en el Atlántico, Pacífico, Mar del Norte, Mediterráneo, Mar Rojo, Golfo de México y Mar de Wedell (Tietjen 1992; Soltwedel 2000). Estudios sobre la meiofauna del océano profundo se han enfocado principalmente en caracterizar la abundancia de ese grupo y relacionarla a gradientes batimétricos (Tietjen 1971; Coull *et al.* 1977; Shirayama 1984; Aller *et al.* 2002; Gutzmann *et al.* 2004; Netto *et al.* 2005). No obstante, también se han realizado estudios relacionando la estructura de la comunidad meiofaunal con la disponibilidad de alimento (Thiel 1979; Pfannkuche 1993; Danovaro *et al.* 1995a; Danovaro *et al.* 1995b; Soltwedel 1997; Fabiano y Danovaro 1999; Sommer y Pfannkuche 2000; Flach *et al.* 2002; Gooday 2002; Netto *et al.* 2005), así como con otros factores ambientales (tipo de sedimento, disponibilidad de oxígeno, hidrodinámica, etc.) (Shirayama 1984; Alongi y Pichon 1988; Vanhove *et al.* 1995; Soltwedel *et al.* 1996).

Estudios sobre la meiofauna se han enfocado en áreas geográficas limitadas, lo que dificulta la visualización de patrones a mayores escalas (regional y global). Por lo general, los estudios cuantitativos de la meiofauna de océano profundo se limitan a una escala local donde correlaciones entre la abundancia y variables físicas o geoquímicas son establecidas (Shirayama 1984), mientras que estudios de gran escala, incorporando diferentes regiones o cuencas, no son considerados. El estudio realizado por Soltwedel (2000) consiste en una revisión de trabajos de océano profundo realizados en 48 regiones a lo largo de los océanos. El número de estaciones muestreadas en los diferentes trabajos ha variado considerablemente, de 2 a 21 estaciones. Asimismo, la mayoría de los trabajos, 31 de las 48 regiones, incluyeron menos de 10 estaciones.

2.2 Estudios sobre la meiofauna del Golfo de México

Investigaciones referentes a la meiofauna del Golfo de México están limitadas a la zona perteneciente a la costa de los Estados Unidos, correspondiente al Norte del Golfo. Esa región ha sido escenario de muchas investigaciones acerca de la distribución de la meiofauna, la mayor parte enfatizando la influencia de la zona mínima de oxígeno y del río Mississippi en las comunidades meiofaunales (Galaway *et al.* 2001; Baguley *et al.* 2006b; Sharma *et al.* 2012). Los trabajos en el océano profundo de esa región se han realizado a profundidades entre 200 y 3750 metros.

Para el Golfo de México, la abundancia de la meiofauna ha sido reportada a partir de 15 estaciones del océano profundo (350-2800 m) en el norte del Golfo de México (Pequegnat *et al.* 1990a) así como 16 estaciones en regiones más someras (200-540 m) localizadas al sur del Golfo (Escobar-Briones *et al.* 1997; Escobar-Briones 2002).

En el caso de México, Escobar-Briones y colaboradores son los que más han contribuido con estudios realizados en el Golfo de México en territorio Mexicano (Escobar-Briones y Soto 1993; Escobar-Briones *et al.* 1997; Escobar-Briones y Soto 1997; Escobar-Briones 2000, 2002; Escobar-Briones *et al.* 2008; Escobar-Briones y Garcia-Villalobos 2009). Tales estudios abarcan la mayor porción del Golfo de México con el objetivo de comprender mejor la abundancia, diversidad y estructura de la meiofauna. Sin embargo, las regiones someras del Golfo de México son las más estudiadas por la comunidad científica. Los estudios realizados en esta región permiten conocer las especies que viven allí, así como su comportamiento en el medio (Galaway *et al.* 2001). Por otro lado se conoce poco sobre la meiofauna del océano profundo. Apenas algunos estudios fueron realizados en la región, donde podemos destacar el estudio realizado por Escobar-Briones *et al.* (2008), en cuatro estaciones a lo largo del Golfo de México, dos en la plataforma continental (1630–1860 m) y otras dos en la llanura abisal (3405–3830), reportando una mayor abundancia en la plataforma continental de ~ 1200 inds. 10cm^{-2} .

De esa manera, hasta la fecha existe poca información referente a distribución de la meiofauna en el Golfo de México, siendo que la mayoría de los estudios están limitados a

la zona intermareal. La mayor parte de los estudios realizados sobre meiofauna dan énfasis al grupo Nematoda. En un estudio relativamente reciente. Hope (2005) lista 190 especies de nemátodos marinos en el Atlántico Noroeste y en el Golfo de México, las cuales están distribuidas en aguas someras de la plataforma continental. Estudios realizados por Cobb (1920), Chitwood (1951), y Chitwood y Timm (1954), describen especies de nemátodos de varios hábitats marinos de la costa de Texas. Nemátodos de la zona intermareal del noreste del Golfo de México fueron estudiados por King (1962), Hopper (1961), y Keppner (1986). En cuanto a la región Mexicana del Golfo de México, la fauna de nemátodos del Caribe ha sido descrita por Boucher y Goubault (1990), Jesús-Navarrete y Herrera-Gómez (2002), y Jesús-Navarrete (2007). Castillo-Fernandez y Lamshead (1990) también han descrito los nemátodos del sur del Golfo de México. Sin embargo, los estudios sobre la nematofauna proveniente del océano profundo del Golfo de México han sido limitados a trabajos ecológicos de una comunidad meiofaunal como un todo, o sea, considerando Nematoda como un grupo representativo de la meiofauna (Baguley *et al.* 2006a). Debido a la importancia económica del Golfo de México y de una futura e inevitable explotación petrolera en aguas profundas, es fundamental conocer las diferencias regionales de la diversidad meiofaunal que brinda el Golfo de México.

3. Hipótesis de trabajo

En este estudio se plantean las siguientes hipótesis sobre la estructura de la meiofauna del océano profundo del Golfo de México:

La primera se refiere a la estructura de la comunidad meiobéntica en una escala espacial a lo largo del océano profundo en el Golfo de México.

H1: La estructura de la comunidad meiofaunal va a variar conforme la heterogeneidad espacial del hábitat sedimentario del océano profundo del Golfo de México.

La segunda hace referencia a la distribución de la comunidad meiobéntica a una escala más pequeña, dentro del núcleo, infiriendo un acoplamiento entre los parámetros ambientales (granulometría y carbono orgánico) y la estructura de la misma. Es decir, la profundidad va a tener un impacto en la estructura de la comunidad.

H2: Los patrones verticales de abundancia y diversidad de la meiofauna dentro del sedimento se correlacionarán con la disponibilidad de carbono orgánico y con cambios en las características granulométricas.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Caracterizar la estructura espacial y vertical de la comunidad meiofaunal del océano profundo en el Golfo de México.

4.2 Objetivos Particulares

4.2.1 Identificar morfológicamente los organismos de la comunidad meiofaunal a través de microscopia óptica y fotos digitales.

4.2.2 Analizar la estructura, abundancia y diversidad, de la comunidad meiofaunal en las estaciones muestreadas en el Golfo de México.

4.2.3 Evaluar los patrones de distribución espacial de la abundancia y diversidad de la meiofauna .

4.2.4 Caracterizar la distribución vertical, dentro del sedimento, de la comunidad meiofaunal en cada estación.

4.2.5 Establecer posibles correlaciones entre la estructura de la meiofauna y las variables abióticas (p. ej. porcentaje de carbono orgánico y la composición granulométrica de los sedimentos).

4.2.6 Comparar los resultados de abundancia y diversidad de la meiofauna entre los cruceros XIXIMI-1 y XIXIMI-2 con el objetivo de analizar la variación temporal de la meiofauna.

5. Metodología

5.1 Área de estudio

El Golfo de México es un mar marginal, parcialmente conectado con el Océano Atlántico a través del estrecho de Florida y con el Mar del Caribe a través del canal de Yucatán (Caso *et al.*, 2004). Tiene una superficie de 1.6 millones de km² y un volumen de aproximadamente 2.3 millones de km³. El sector norte de la cuenca del Golfo de México es territorio de los Estados Unidos., mientras que el sector sur corresponde a la zona económica exclusiva de México. La parte central entre los dos sectores (norte y sur) presenta las mayores profundidades del Golfo de México, alcanzando hasta 3750 m (Salvador, 2011).

5.2 Muestreo

Se seleccionaron estaciones en el Golfo de México, con el objetivo de cubrir la mayor porción del sector sur correspondiente a la zona económica exclusiva de México (Figura 1). Se tomaron muestras a diferentes profundidades variando entre los 1233 a 3739 metros de profundidad, desde la región adyacente a la costa hasta la región central del Golfo (Tabla 1).

Las muestras se recolectaron durante dos campañas oceanográficas XIXIMI-1 y XIXIMI-2 (Figura 1), realizadas durante el otoño de 2010 (noviembre) y en el verano de 2011 (julio), respectivamente, a bordo del barco oceanográfico *Justo Sierra* de la UNAM. En el crucero XIXIMI-1, las muestras de sedimento se recolectaron con un nucleador tipo caja, de donde se tomaron submuestras. En cada localidad se colectaron submuestras para la meiofauna bentónica con un nucleador de acrílico con 8.1 cm diámetro por 12 cm de altura. En total, para la campaña XIXIMI-1 fueron recolectadas 7 muestras para la meiofauna. Por otra parte, en el crucero XIXIMI-2 las muestras de sedimento se recolectaron con un multinucleador de seis núcleos. El sedimento colectado en uno de esos núcleos fue utilizado específicamente para la meiofauna.

En ambos cruces la muestra total del nucleador fue subdividida en estratos de 1 cm de espesor desde la superficie hasta los 4 cm del núcleo sedimentario y de 2 cm de espesor de los 4 cm hasta los 12 cm. Los estratos fueron transferidos a un frasco y preservados de inmediato en formalina 10%. Además, se tomaron muestras de sedimento para caracterizar la granulometría y materia orgánica de cada estación.

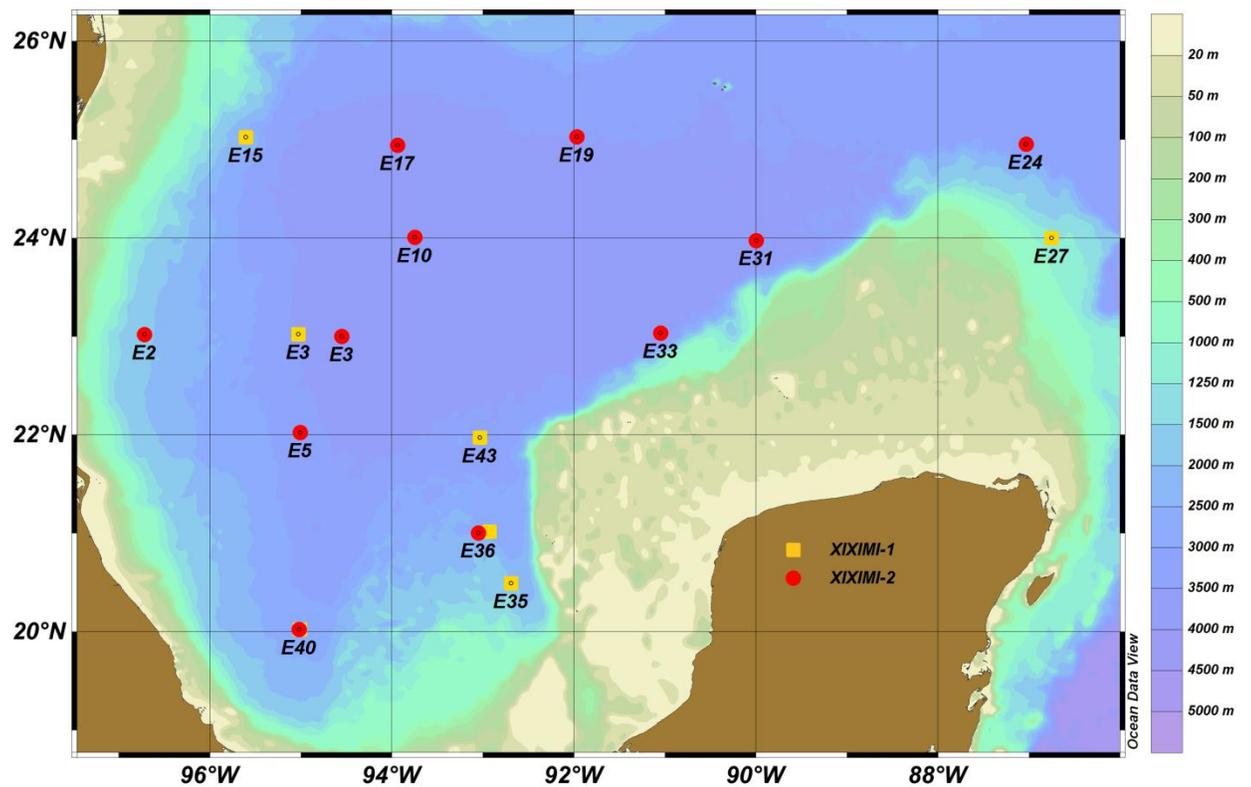


Figura 1. Mapa del Golfo de México con las estaciones del área de estudio.

Tabla 1. Localización, fechas de muestreo y profundidad de las estaciones que se recolectaron durante las campañas oceanográficas XIXIMI-1 y XIXIMI-2 a bordo del *BO Justo Sierra*.

Crucero	Estación	Fecha	Longitud	Latitud	Profundidad (m)
XIXIMI-1	3	16-Nov-2010	-95.005	23.008	3569
XIXIMI-1	15	8-Nov-2010	-95.601	25.008	2416
XIXIMI-1	27	11-Nov-2010	-86.758	23.988	1233
XIXIMI-1	35	20-Nov-2010	-92.675	20.496	2464
XIXIMI-1	36	20-Nov-2010	-92.998	21.007	2549
XIXIMI-1	40	21-Nov-2010	-95.005	20.011	2758
XIXIMI-1	43	18-Nov-2010	-93.009	21.991	3297
XIXIMI-2	2	3-Jul-2011	-96.709	23.011	1790.8
XIXIMI-2	3	11-Jul-2011	-94.520	23.000	3727.0
XIXIMI-2	5	13-Jul-2011	-95.002	22.011	3366.8
XIXIMI-2	10	10-Jul-2011	-93.725	24.003	3738.8
XIXIMI-2	17	4-Jul-2011	-93.982	24.990	3699.5
XIXIMI-2	19	1-Jul-2011	-91.986	25.006	3520.7
XIXIMI-2	24	7-Jul-2011	-87.010	25.000	3340.7
XIXIMI-2	31	9-Jul-2011	-89.994	23.989	3627.9
XIXIMI-2	33	12-Jul-2011	-91.013	23.017	3714.1
XIXIMI-2	36	15-Jul-2011	-93.026	21.003	2245.5
XIXIMI-2	40	1-Jul-2011	-95.007	20.017	2756.2

5.3 Procesamiento de las muestras

5.3.1 Separación de los organismos del sedimento

Las muestras de meiofauna fueron procesadas según los métodos descritos por Somerfield y Warwick (1996) (Figura 2). Las mismas fueron lavadas utilizándose un juego de tamices con luz de malla de 1000 y 42 μm . La muestra retenida en la malla de 1000 μm , fue separada para el estudio de la macrofauna. El material retenido en la malla más fina (42 μm) fue sometido al proceso de flotación con sílice coloidal (Ludox TM 50; densidad específica 1,15 g/cm^{-3}). La densidad específica inicial del Ludox TM 50 es de 1.40 g/cm^{-3} , así que se disminuyó hasta 1.15 g/cm^{-3} con el objetivo de maximizar la extracción de organismos presentes en el sedimento (Jonge y Bouwman 1977).

El proceso consiste en separar la fauna (resuspender los organismos) del sedimento por diferencia de densidad. El sedimento fue transferido del tamiz de 42 μm con la ayuda de una piseta conteniendo Ludox (1.15 g/cm^3) a un vaso precipitados de 300 ml. Posteriormente, se adicionó Ludox hasta completar los 250 ml del vaso y se agitaron las muestras con un agitador de vidrio con el fin de proporcionar la resuspensión del material (Figura 2). Después de 40 minutos el sobrenadante fue retirado y transferido a un frasco debidamente etiquetado conteniendo formalina 4%. Este proceso fue repetido tres veces para cada muestra con el objetivo de retirar el máximo de la fauna existente en las muestras (Figura 2).

Para la cuantificación e identificación de la fauna de cada muestra se hizo el aislamiento de la fauna. Para ello, se resuspendieron los organismos homogéneamente en la solución de formalina antes de tomar una alícuota de 10 ml (25% del volumen total de 40 ml) de cada muestra con la ayuda de una micropipeta. Esta alícuota se procesó como sigue: se transfirió a un bloque de vidrio cóncavo (“embryo dish”) conteniendo una solución de glicerol (45 % de agua, 50 % alcohol PA, 5 % glicerina PA) para ser deshidratada sobre una placa caliente (60°C) por aproximadamente 12 horas hasta la evaporación del agua y del alcohol. Finalmente, se confeccionaron laminillas permanentes con el material restante, transfiriendo el material del bloque cóncavo a un porta objetos que posee un molde de parafina. Las laminillas fueron selladas con el uso de un cubre objetos y calentando el molde de parafina en una placa caliente (50 a 60°C) (Figura 2).

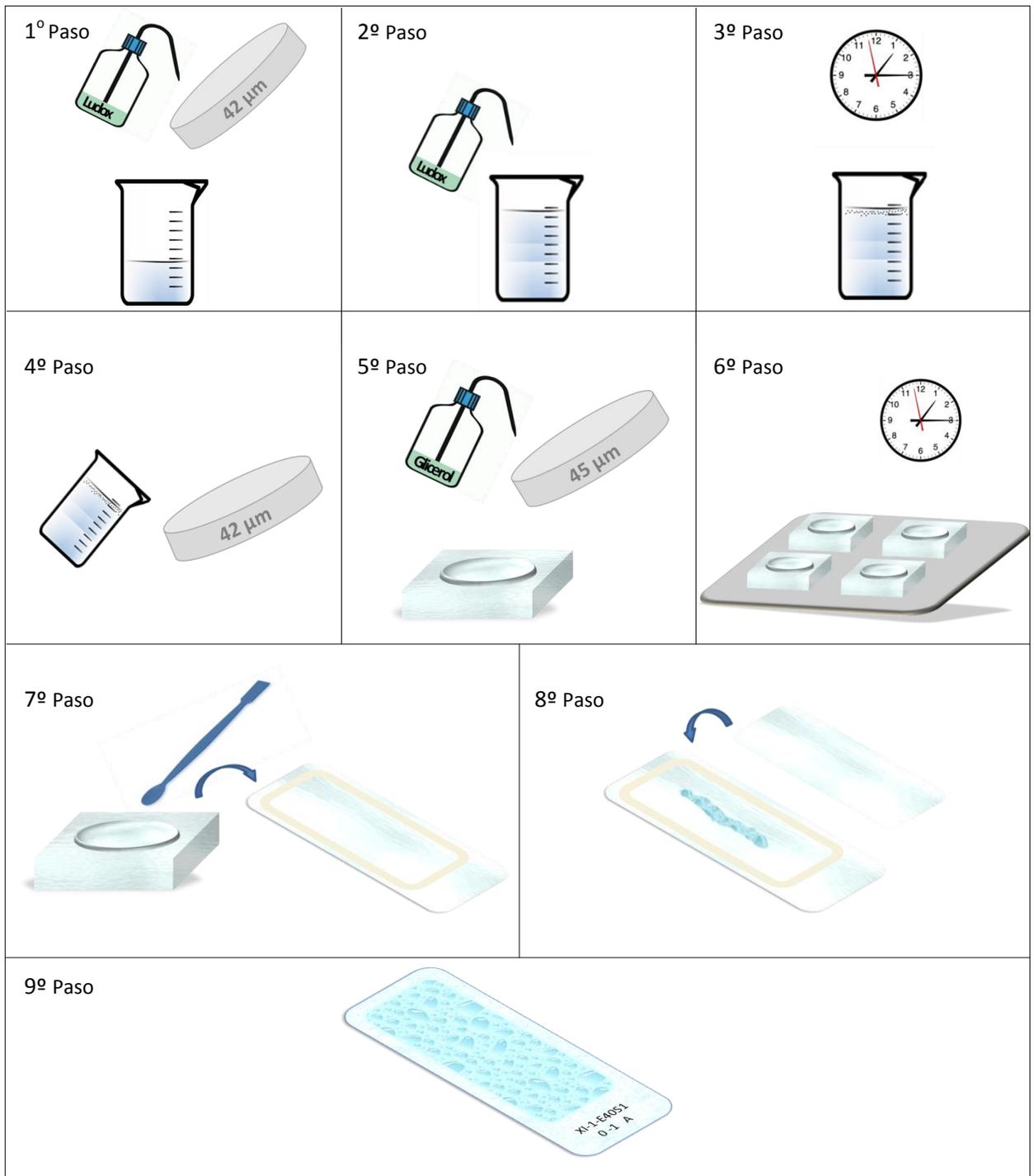


Figura 2. Esquema del método de flotación según Somerfield y Warwick (1996).

5.3.2 Identificación de la meiofauna

Para la identificación de la meiofauna, los organismos fueron identificados a nivel de filo (p. ej., Poliqueta) o taxones inferiores como clase (p. ej., clase Copépoda) permitiendo la cuantificación total de la fauna presente en cada muestra. Para la identificación de la nematofauna, se seleccionaron aleatoriamente el 10% del total de nemátodos presentes en cada muestra (Tabla 2). Los especímenes fueron identificados a nivel de género, cuando fue posible, con el apoyo de claves taxonómicas (Platt y Warwick 1983, 1988; Warwick y Clarke 1998) así como de bases de datos electrónicas (NEMYS (<http://nemys.ugent.be/>)). En el microscopio con contraste de interferencia diferencial (Olympus-BX51) se observaron las muestras (4x, 20x, 40x, y 60x) y se tomaron fotos de los especímenes a través de una cámara digital (Olympus U-TV0.5C-3) que se encuentra acoplada al microscopio. Dichas fotos ayudaron en la identificación con base en los caracteres morfológicos, y ayudarán a crear un acervo de imágenes de los especímenes presentes que servirá como referencia para futuras investigaciones.

Tabla 2. Total de nemátodos presentes en los diferentes niveles de las muestras recolectadas en el crucero XIXIMI-1 y su respectivo 10% utilizado en la identificación hasta nivel genérico.

Estación	Nematoda	10%	Estación	Nematoda	10%	Estación	Nematoda	10%
E40(0-1)	248	25	E15(0-1)	366	37	E27(0-1)	311	31
E40(1-2)	171	17	E15(1-2)	308	31	E27(1-2)	212	21
E40(2-3)	82	8	E15(2-3)	129	13	E27(2-4)	85	9
E40(3-4)	54	5	E15(3-4)	72	7	E27(4-6)	25	3
E40(4-6)	49	5	E15(4-6)	32	3			
E3(0-1)	56	6	E35(0-1)	253	25			
E3(1-2)	65	7	E35(1-2)	100	10			
E3(2-3)	40	4	E35(2-3)	63	6			
E3(3-5)	72	7	E35(3-4)	49	5			
E3(5-7)	47	5	E35(4-6)	37	4			
E36(0-1)	284	28	E43(0-1)	140	14			
E36(1-2)	91	9	E43(1-2)	84	8			
E36(2-3)	51	5	E43(2-3)	71	7			
E36(3-5)	36	4	E43(3-4)	33	3			
E36(5-7)	48	5	E43(4-6)	28	3			

5.3.2 Procesamiento de las muestras abióticas

La determinación del porcentaje de carbono orgánico en los sedimentos fue realizada mediante análisis por espectrometría de masas (Herzka *et al.* 2012). Los análisis granulométricos se realizaron en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC. La determinación del tamaño de las partículas sedimentarias se realizó sobre una muestra de cada estrato de sedimento con un analizador de laser-tungsteno HORIBA LA910.

5.4 Análisis de datos

Métodos multivariados fueron utilizados para analizar la estructura de la meiofauna del océano profundo del Golfo de México. Los análisis multivariados fueron realizados con el programa estadístico PRIMER 5.0®.

Los análisis multivariados no paramétricos permiten la comparación de las muestras sin la necesidad de homogeneizarlas, es decir, adecuar los datos a un patrón de distribución normal, como es necesario en los análisis univariados. De esta manera, especies particulares, que las muestras comparten en niveles comparables de abundancia, pueden ser analizadas. La transformación de los datos en análisis multivariados simplemente reduce la contribución de especies dominantes, haciendo que la contribución de especies raras pueda ser evidenciada en la estructura de la comunidad (Clarke y Warwick 1994). En este trabajo, los datos de abundancia fueron transformados logarítmicamente ($\log(x+1)$) cuando resultó necesario, dependiendo del análisis realizado.

Para la meiofauna fueron construidas matrices de similitud utilizando el coeficiente de similitud de Bray-Curtis a través del programa PRIMER, donde los datos son ordenados y visualizados a través del análisis de proximidad (MDS “Análisis de escalamiento multidimensional”, (Clarke y Gorley 2001). Este permite la visualización de las muestras en un plano bi-dimensional, donde la distancia relativa entre una muestra y otra corresponde a la disimilitud de ellas, entre más cercanas más similares. La fidelidad del análisis de proximidad es evaluada a través del valor de stress. Cuanto menor sea el

valor de stress, mayor será la representatividad del MDS. Los datos sufrieron transformaciones logarítmicas.

Pruebas no paramétricas multivariadas ANOSIM (Análisis de similitud, Clarke & Green, 1988) fueron realizadas posteriormente a los análisis de proximidad para probar formalmente la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) en las estructuras multivariadas de la meiofauna entre las estaciones muestreadas. Las diferencias encontradas a través de la prueba ANOSIM fueron mejor identificadas con el análisis de similitud en porcentuales (SIMPER). Este análisis calcula la similitud y jerarquiza las abundancias relativas de cada especie entre las muestras de cada estación analizada. Además, el análisis muestra el grado de contribución relativa de cada especie en la diferenciación entre las muestras (Clarke & Warwick, 1994).

Se determinaron también los índices univariados de cada estación, tales como el número de individuos (N), número de especies (S), índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') y equitabilidad (J'), que fueron calculados a partir de la matriz original con el software PRIMER. Para identificar las diferencias en los valores de los índices univariados de la nematofauna fue realizado un agrupamiento de las estaciones. El agrupamiento consistió en separar las estaciones con los valores más altos (E15, E27, y E40; Grupo 1) comparados con las estaciones de menores valores (E3, E35, E36, y E43; Grupo 2). Una vez agrupadas las estaciones una prueba t-student fue aplicada a los índices, con el objetivo de encontrar posibles diferencias entre los grupos. Una ANOVA unifactorial fue aplicada con el objetivo de encontrar posibles diferencias en la estructura (abundancia y diversidad) de la meiofauna entre los dos cruceros.

Para relacionar la distribución espacial de las estaciones con los parámetros abióticos se realizó un análisis de ordenamiento lineal en componentes principales (PCA). El PCA fue aplicado considerando los siguientes factores potenciales para explicar la variabilidad entre las estaciones: porcentaje de arena (% Arena), porcentaje de limo (% Limo), porcentaje de arcilla (% Arcilla), porcentaje de carbono orgánico (% C orgánico), tamaño medio del grano (Media μm), selección del grano (Selección), asimetría del grano (Asimetría) y kurtosis (Kurtosis).

Con el objetivo de establecer posibles correlaciones entre la estructura de la meiofauna y los parámetros ambientales, se realizaron análisis de correlación entre los valores de abundancia y diversidad de la meiofauna y nematofauna y las variables ambientales (granulometría, carbono orgánico, profundidad) con el programa STATISTICA 6.0[®].

6. Resultados

6.1 Meiofauna

6.1.1 Abundancia y composición de la meiofauna de las muestras recolectadas en el crucero XIXIMI-1

6.1.1.1 Abundancia

Para caracterizar la estructura de la meiofauna se recolectaron muestras en siete estaciones en el Golfo de México, entre 1233 y 3569 m de profundidad (Tabla 1). Los valores de abundancia de la meiofauna variaron de 276 a 837 inds. 10 cm^{-2} (individuos por 10 centímetros cuadrados), con un promedio de 502 inds. 10 cm^{-2} (Figura 3).

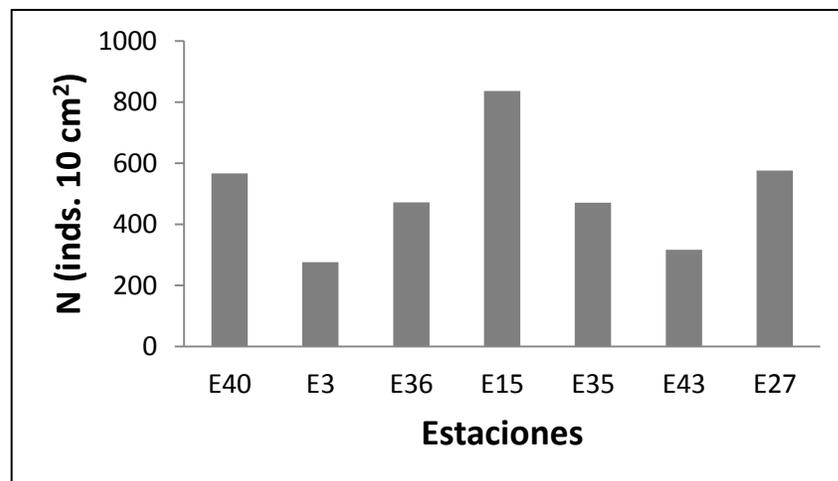


Figura 3. Abundancia de la meiofauna en las siete estaciones del Golfo de México muestreadas en el crucero XIXIMI-1.

La mayor y menor abundancia ocurrió en las estaciones E15 (profundidad de 2,416 m) y E3 (profundidad de 2,338 m), respectivamente (Figura 3). Cuatro de las siete estaciones presentaron valores de abundancia cercanos al promedio (502 inds. 10 cm^{-2}) (E40, E36, E35, y E27). La estación E43 presentó valores de abundancia por debajo del promedio, 317 inds. 10 cm^{-2} acercándose a la estación E3.

6.1.1.2 Composición de la meiofauna

En total, en las siete estaciones se identificaron 4525 organismos, los cuales representaron siete grupos meiofaunales. El grupo Nematoda fue numéricamente dominante en todas las estaciones, representando el 92% del total de organismos identificados (Figura 4a). El grupo Copepoda representó el 3% seguido de Turbellaria con apenas 2%. Las abundancias de los otros cuatro grupos meiofaunales juntas (Oligochaeta, Polychaeta, Gastrotricha y Tardigrada) representaron apenas un 3% de la meiofauna total identificada (Figura 4a).

El mayor número de grupos meiofaunales se registró en las estaciones E35 y E36, ambos con los siete grupos. Por otro lado, en la estación E3 se presentaron sólo 4 de los grupos meiofaunales. Analizándose separadamente la composición de la meiofauna de cada estación, se observa que las estaciones E3, E27 y E15 presentan un mismo patrón de abundancia total, donde el grupo Nematoda es el más abundante seguido de Copepoda y Turbellaria (Figura 4b). Asimismo, en las estaciones E35, E43 y E36 el grupo Nematoda también resultó el grupo dominante, sin embargo con Turbellaria como el segundo grupo más representativo y Copepoda en tercer lugar. En la estación E40 se registró un patrón diferente caracterizado por la ausencia del grupo Turbellaria. En ese caso, Nematoda fue el grupo más abundante seguido de Copepoda y Oligochaeta (Figura 4b).

En el análisis de escalamiento multidimensional (MDS) podemos observar la distribución espacial de las estaciones y la contribución de los principales grupos meiofaunales. En ese caso, las abundancias de los grupos Nematoda, Copepoda y Turbellaria pueden ser representadas en cada estación (Figura 5). Nematoda presentó altos valores de densidad en todas las estaciones, siendo un orden de magnitud mayor que los valores de densidad para Copepoda y Turbellaria (Figura 5). De hecho, Copepoda y Turbellaria presentaron valores de abundancia similares en las estaciones (Figura 3, ver escala de abundancias). Con respecto a su ocurrencia, los grupos Nematoda y Copepoda estuvieron presentes en todas las estaciones. No obstante, sus mayores valores de abundancia se registraron en las estaciones E15 y E40. Para el grupo Turbellaria las

mayores densidades se encontraron en las estaciones E35 y E36, mientras que estuvo ausente en la estación E40.

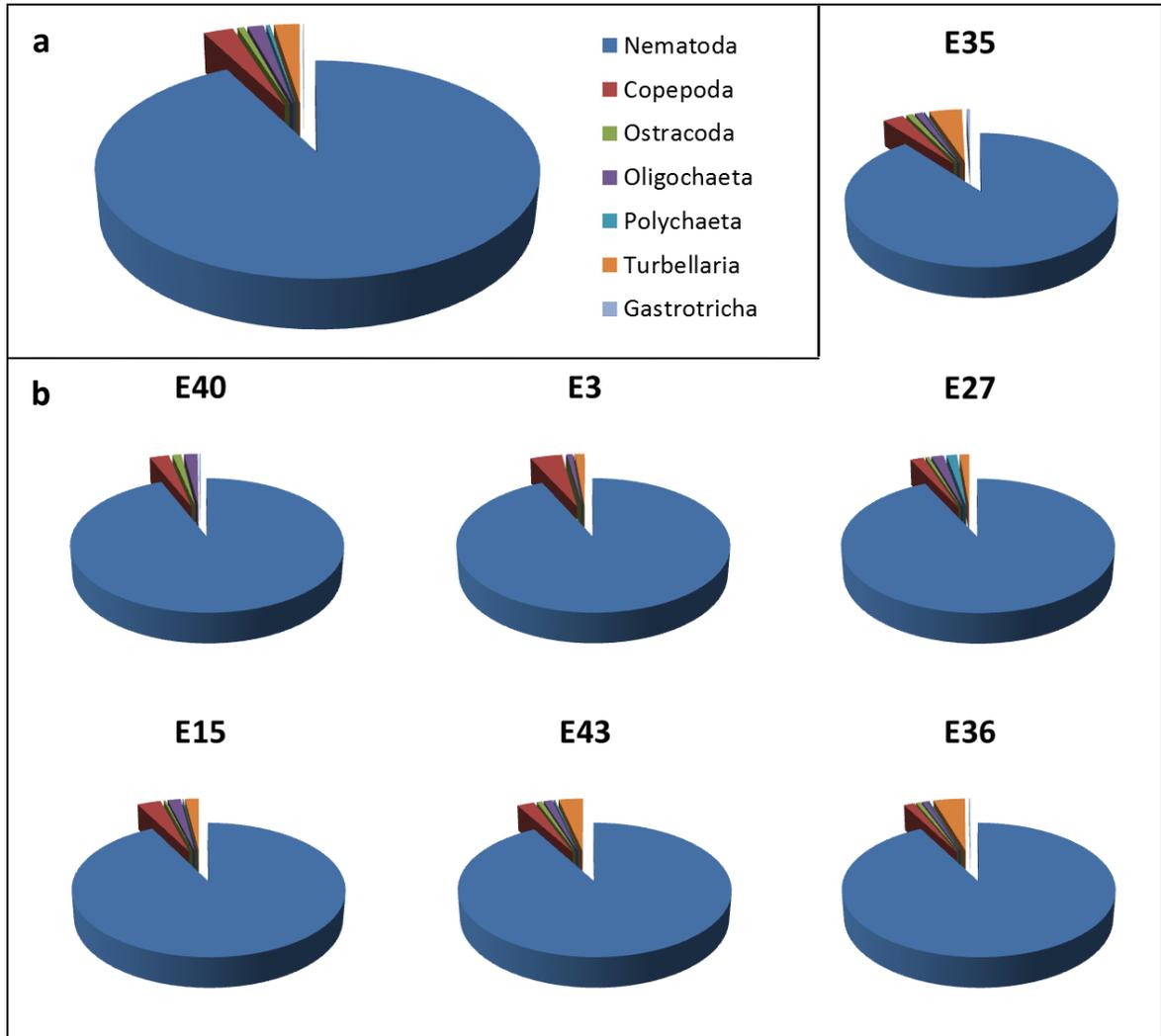


Figura 4. Composición de la meiofauna recolectada en la campaña XIXIMI-1. a, Composición total de la meiofauna; b, Composición de la meiofauna en las siete estaciones.

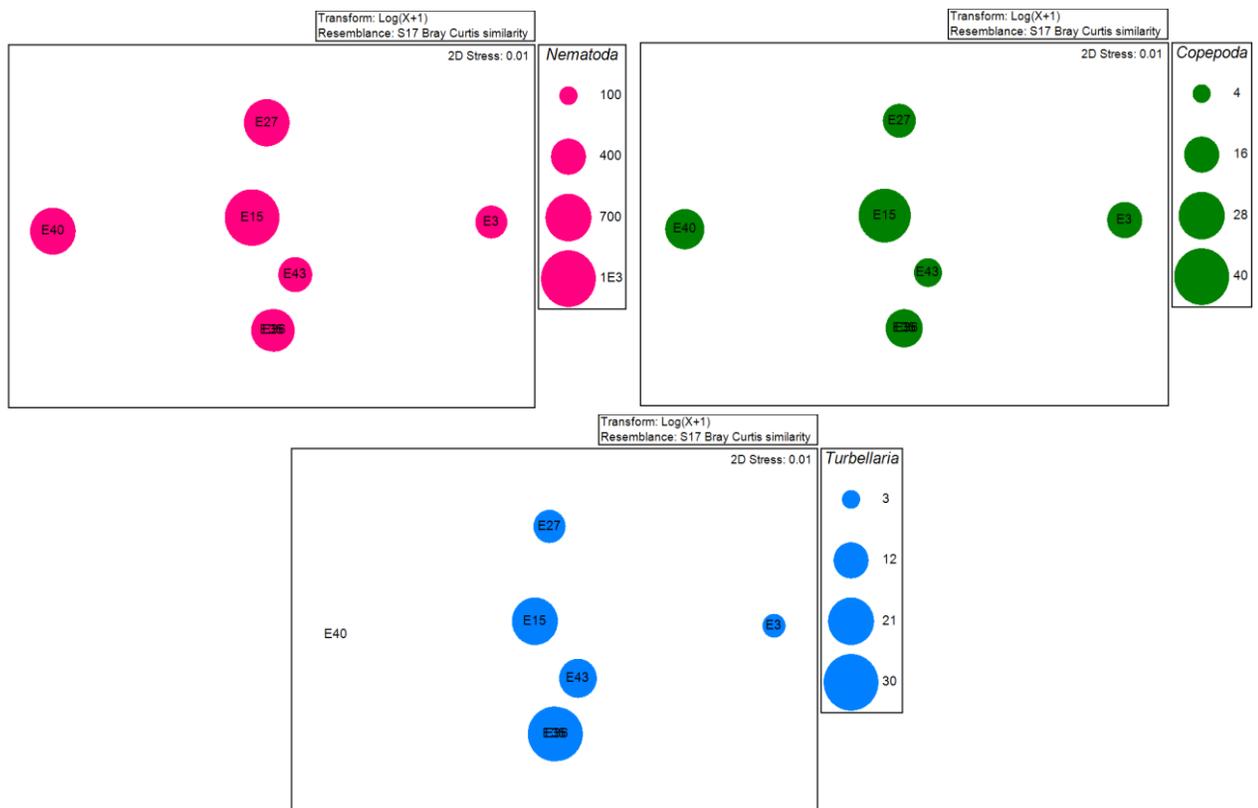


Figura 5. Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) para los datos derivados de la meiofauna, evidenciando las diferencias entre las densidades (inds.10 cm⁻²) de los grupos meiofaunales más abundantes en las siete estaciones muestreadas en XIXIMI-1 en el Golfo de México.

6.1.1.3 Distribución vertical

Basándonos en los valores de densidad para cada estación se estableció la distribución vertical de la meiofauna dentro del sedimento (0 a 6 cm de profundidad). En todas las estaciones, los mayores valores de densidad fueron registrados en los niveles superiores del sedimento (0-2 cm), donde se encuentra más del 50% de la meiofauna identificada (promedio de 204 inds. 10 cm⁻² en nivel 1). A partir del nivel de 2 cm, hay una reducción de la abundancia con la profundidad, en algunas estaciones podemos observar una reducción gradual, mientras que otras muestran una reducción rápida y considerable de

la abundancia con la profundidad. Por ejemplo, en los niveles inferiores (4-5 cm) las densidades fueron reducidas a más de la mitad, sin embargo no llegan a cero (Figura 6).

La distribución vertical de la meiofauna mostró un patrón similar en todas las estaciones, es decir, valores altos de densidad en los niveles superiores disminuyendo hacia los niveles inferiores. La única excepción fue la estación E3. En dicha estación, y de forma sorprendente, los valores de densidad no disminuyeron con la profundidad. De hecho, los valores más altos de densidad se registraron a los 4 cm de profundidad en el sedimento (Figura 6).

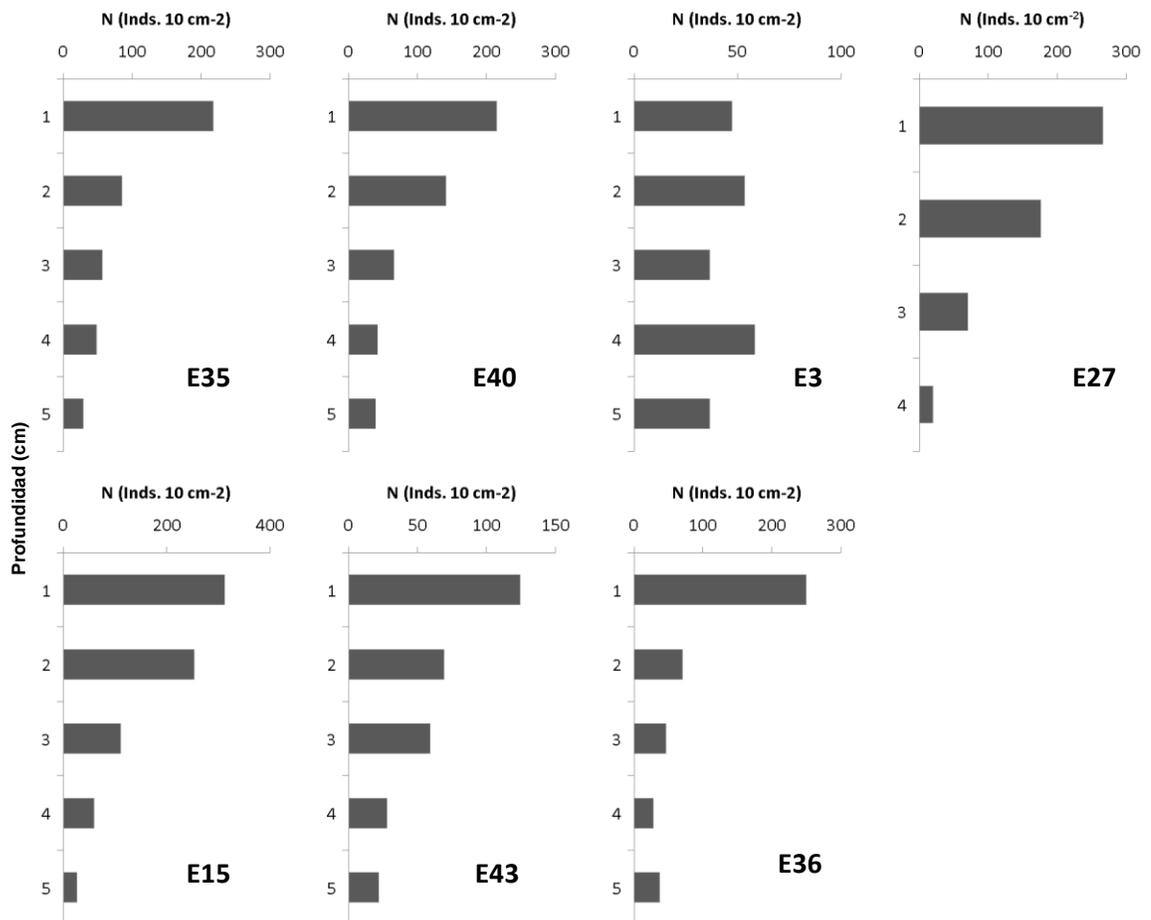


Figura 6. Distribución vertical de la meiofauna en las siete estaciones recolectadas en XIXIMI-1 en el Golfo de México.

6.1.1.4 Distribución espacial

Para evaluar la similitud entre las estaciones se realizó un análisis de escalamiento multidimensional (MDS). En ese caso, los estratos de los diferentes niveles fueron analizados de manera integrada, es decir, la distribución de cada estación en el espacio es resultado de la comunidad meiofaunal presente en todo el núcleo de sedimento. El MDS aplicado a los datos de abundancia de la meiofauna pudo diferenciar las estaciones, con excepción de las estaciones E35 y E36, las cuales se trasladaron en el gráfico bidimensional, reflejando su gran similitud (Figura 7a). Asimismo, la estación E43 estuvo cercana a las estaciones E35 y E36 (área marcada con línea discontinua en el gráfico). La similitud en la estructura de las comunidades infáunicas de esas tres estaciones se puede deber a su proximidad geográfica (Figura 7b).

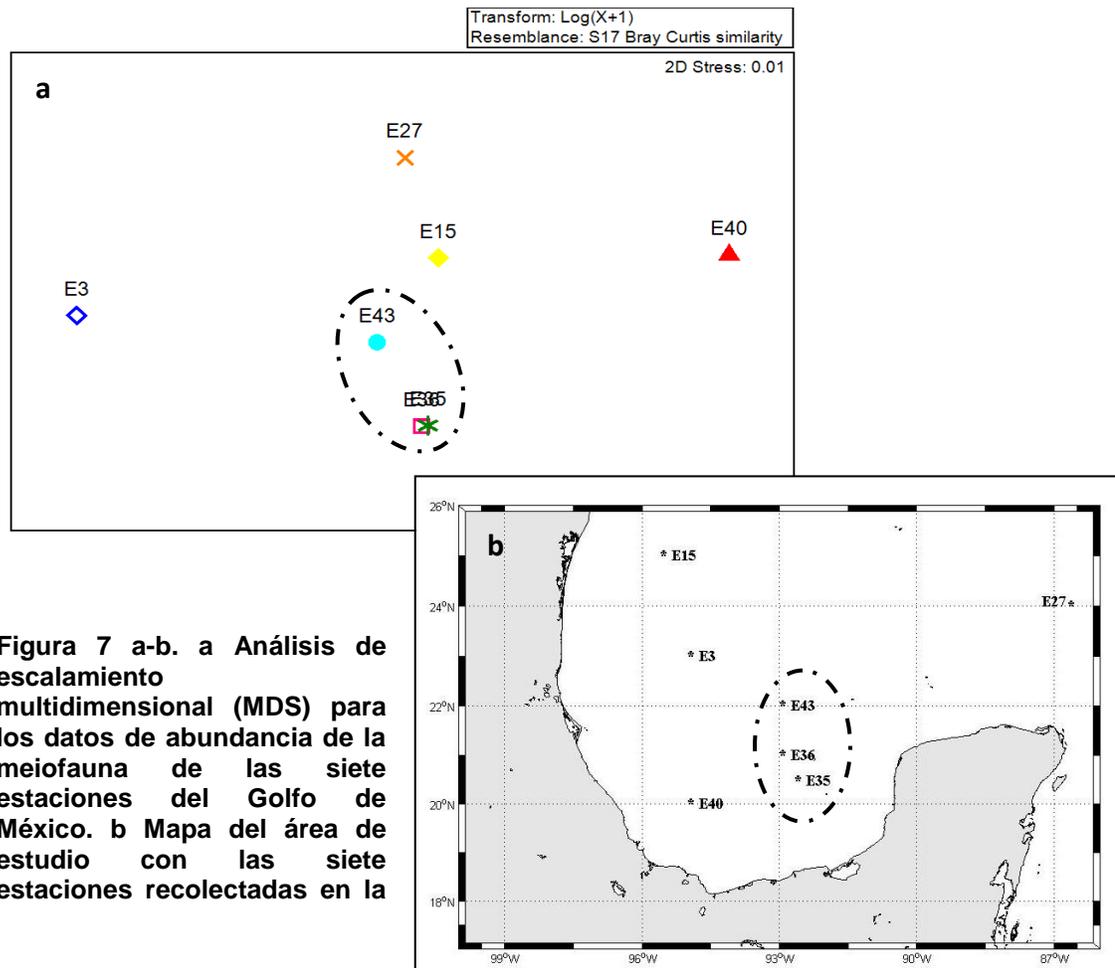
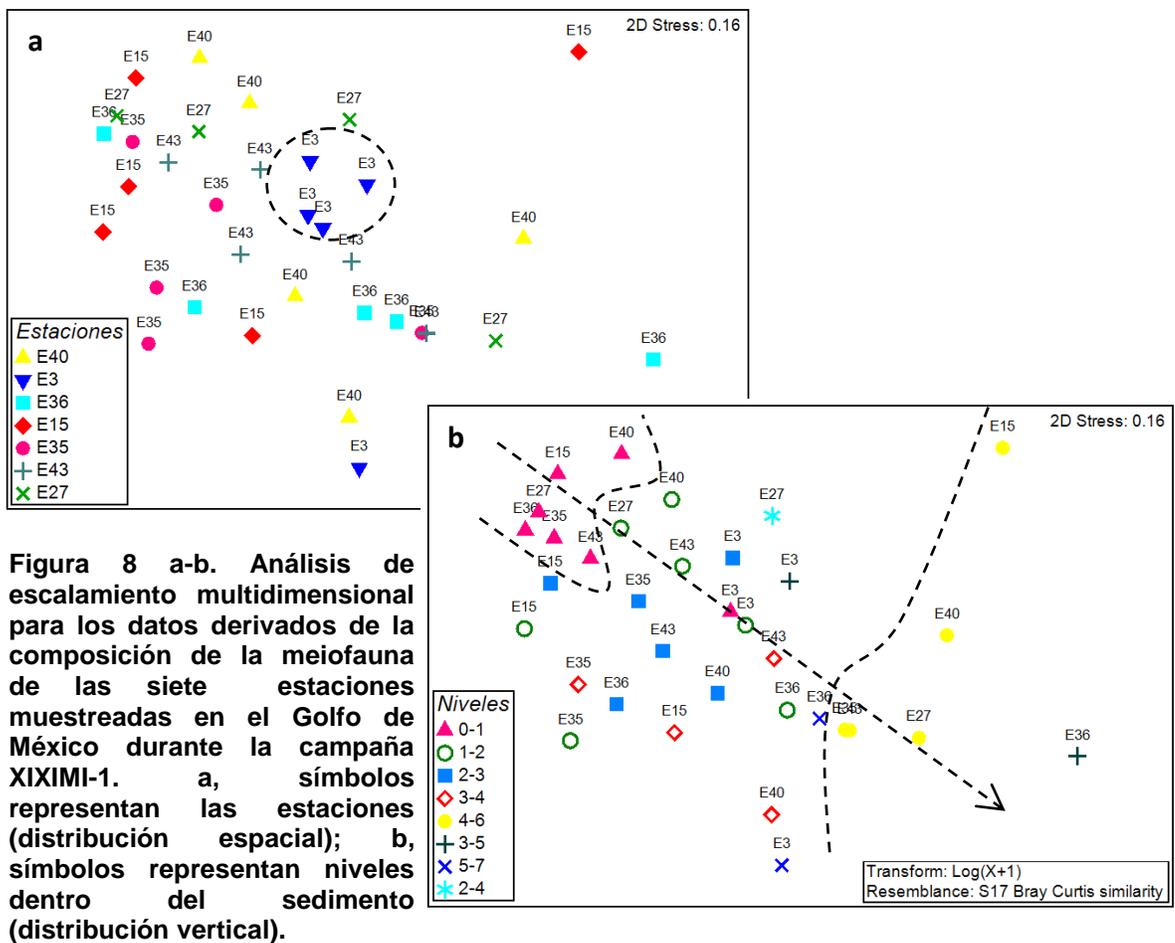


Figura 7 a-b. a Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) para los datos de abundancia de la meiofauna de las siete estaciones del Golfo de México. b Mapa del área de estudio con las siete estaciones recolectadas en la

campaña XIXIMI-1 en el Golfo de México.

El MDS también fue aplicado a los valores de abundancia de la meiofauna para cada estrato de profundidad, es decir, cada nivel representó un punto en el espacio bidimensional del MDS. De esta forma se pudo resolver, además de la variabilidad espacial horizontal de la estructura comunitaria meiofaunal de toda la muestra integrada verticalmente (Figura 8a), la componente vertical de la estructura dentro del sedimento (Figura 8a-b).



No fue posible observar un patrón claro en cuanto a la distribución espacial de los estratos de sedimento, es decir, los diferentes niveles de una misma estación no parecen

agruparse, por lo que no reflejan una mayor similitud entre ellos que con estratos de otras estaciones (Figura 8a). La única excepción fue la estación E3, para la cual los estratos de diferentes profundidades se agruparon claramente (círculo en Figura 8a). Tal agrupamiento se debe al hecho de que los diferentes niveles en esa estación presentan una composición taxonómica y abundancias similares (ver perfil vertical de E3, Figura 6) en todo el núcleo de sedimento, por lo que parecen haber sido homogeneizadas. En el caso del resto de las estaciones, los estratos se encuentran dispersos, sin agruparse (Figura 8a). Por otra parte, la similitud encontrada entre las comunidades de las estaciones E35, E36 y E43 al ser integradas verticalmente (Figura 7), no se observa cuando el componente vertical es incorporado en el análisis (Figura 8a).

Por otra parte, si se codifican los estratos en el MDS por profundidad (enfaticando los estratos del sedimento) en lugar de por estación de muestreo, podemos observar que emerge un patrón claro de distribución de acuerdo a los niveles. Es decir, los niveles de una misma profundidad de diferentes estaciones son más similares entre sí que con otros estratos de la misma estación, resaltando el componente vertical. De hecho, se identifica claramente un gradiente desde los niveles superiores hacia los niveles inferiores, principalmente de 0-3 cm (Figura 8b).

6.1.2 Abundancia y composición de la meiofauna de las muestras obtenidas en el crucero XIXIMI-2

6.1.2.1 Abundancia

En el segundo crucero realizado en el Golfo de México se recolectaron muestras en 11 estaciones distribuidas entre 1791 y 3739 m de profundidad (Tabla 1). Los valores de abundancia de la meiofauna variaron entre 221 y 670 inds. 10 cm^{-2} , con un promedio de 401 inds. 10 cm^{-2} (Figura 9). La mayor abundancia, 670 inds. 10 cm^{-2} , ocurrió en la estación E40 (profundidad de 2758 m) y la menor abundancia, 221 inds. 10 cm^{-2} , en la estación E24 (profundidad de 3374 m). (Figura 9). Tres de las 11 estaciones presentaron valores de abundancia cercanos al promedio (E2, E33 y E36). Las estaciones E19 y E31

presentaron valores arriba del promedio, mientras que las estaciones E3, E5, E10 y E17 presentaron valores de abundancia por debajo del promedio.

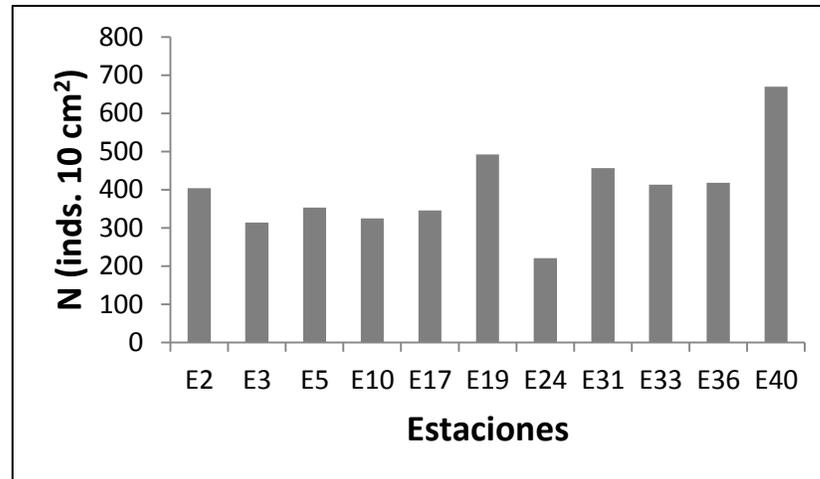


Figura 9. Abundancia de la meiofauna en las once estaciones del Golfo de México muestreadas en el crucero XIXIMI-2.

6.1.2.2 Composición de la meiofauna

En total, en las 11 estaciones se identificaron 5682 organismos, que representaron a nueve grupos meiofaunales. Al igual que en el primer crucero, Nematoda fue el grupo dominante para todas las estaciones, representando 86% del total de organismos identificados (Figura 10a). Copepoda representó el 8%, seguido de Turbellaria con 5%. Los demás grupos representaron juntos apenas 1% de la meiofauna total (Figura 10a).

El mayor número de grupos meiofaunales (9 taxones) se registró en la estación E31. En las estaciones E10 y E24 se encontraron sólo 4 de los nueve grupos meiofaunales. En las estaciones E10, E24 y E33 el grupo Nematoda siguió siendo el grupo más abundante, sin embargo la abundancia fue diferentemente a la del patrón de abundancia total. En esas estaciones, el grupo Turbellaria fue el segundo más abundante seguido de Copepoda (Figura 10b). En la estación E36 el grupo Turbellaria presentó la menor abundancia. Una vez más, Nematoda fue el grupo más abundante seguido de Copepoda y Ostracoda. En las demás estaciones, el patrón de abundancia de los grupos meiofaunales fue muy similar al

de la abundancia total (Figura 10a), o sea, Nematoda seguido de Copepoda y Turbellaria (Figura 10b).

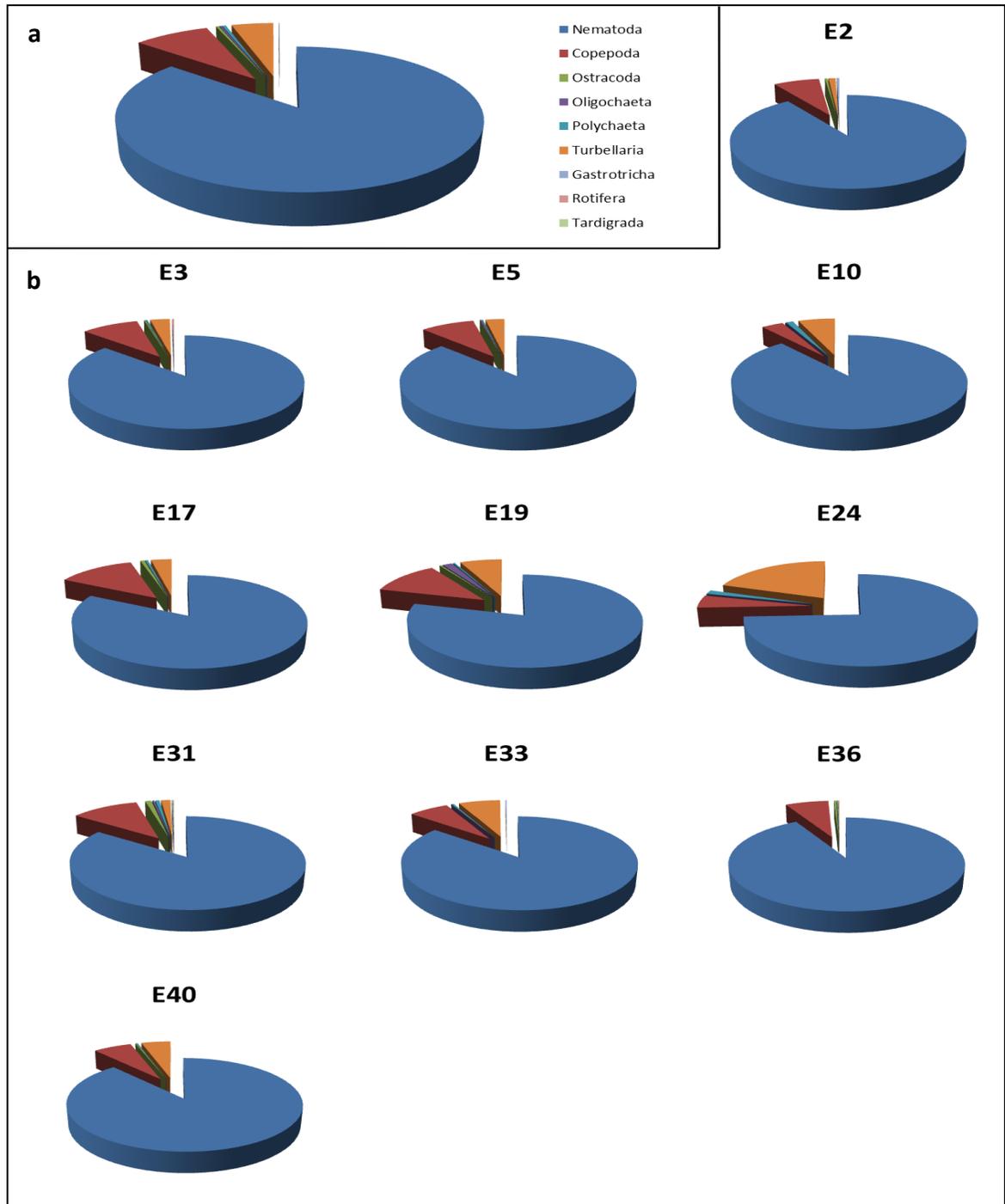


Figura 10. Composición de la meiofauna recolectada en la campaña XIXIMI-2. a, Composición total de la meiofauna; b, Composición de la meiofauna en las once estaciones.

A través del MDS se observó la distribución espacial de las estaciones, así como la contribución de los principales grupos meiofaunales (Nematoda, Copepoda y Turbellaria, Figura 11). Una vez más, Nematoda presentó los valores más altos de abundancia en todas las estaciones. Los valores de abundancia de los grupos Copepoda y Turbellaria fueron similares en las estaciones, sin embargo mayores que en el primer crucero (Figura 11). Los grupos Nematoda Copepoda y Turbellaria estuvieron presentes en todas las estaciones. Para Nematoda los mayores y menores valores de abundancia fueron observados en la estación E40 y E24, respectivamente. Para Copepoda los mayores valores fueron registrados en la estación E19, mientras que en las estaciones E10 y E24 se observaron bajos valores de abundancia. Para el grupo Turbellaria los mayores valores de abundancia se presentaron en la estación E24 (Figura 11).

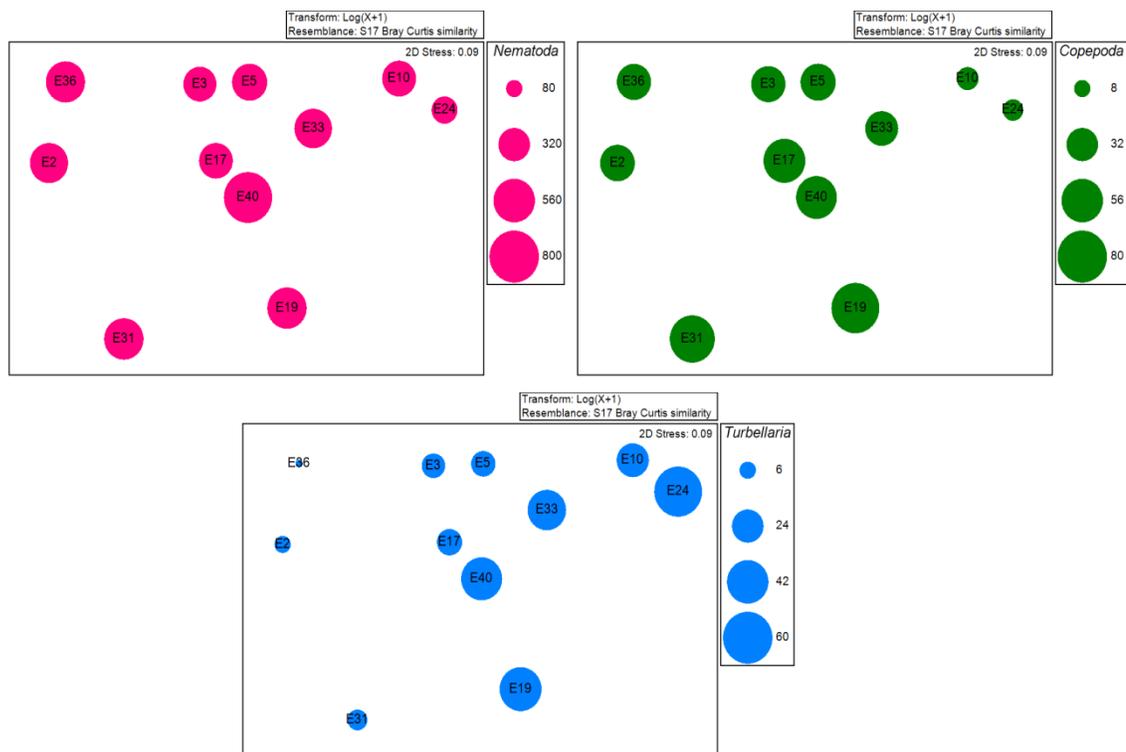


Figura 11. Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) para los datos derivados de la meiofauna, evidenciando las diferencias entre las densidades (inds.10 cm⁻²) de los grupos meiofaunales más abundantes en las once estaciones muestreadas en XIXIMI-2 en el Golfo de México.

6.1.2.3 Distribución vertical

La distribución vertical de la meiofauna representa la comunidad meiofaunal en los primeros 10 cm de profundidad en el sedimento (Figura 12). Se observaron los mayores valores de densidad en los niveles superiores del sedimento (0-2 cm), más del 50% de la fauna se registró en dichos estratos superficiales. A partir de ese nivel (2 cm), lo que se observa es un gradiente de reducción de la abundancia con el aumento la profundidad en el sedimento (Figura 12).

Por lo general, el patrón de distribución vertical de la abundancia fue similar entre todas las estaciones; sin embargo, el gradiente de reducción con respecto a la profundidad se observa con mayor claridad en las estaciones E3, E19, E31 y E40 (Figura 12). Las demás estaciones presentan algunos picos de abundancia en niveles inferiores (e. j. E2 nivel 6 cm), sin embargo no muy grandes. No obstante, los valores de abundancia parecen reducirse drásticamente en los niveles más profundos (6-8 cm), excepto en la estación E33, la cual presentó valores de abundancia alrededor de 50 inds. 10 cm^{-2} (Figura 12).

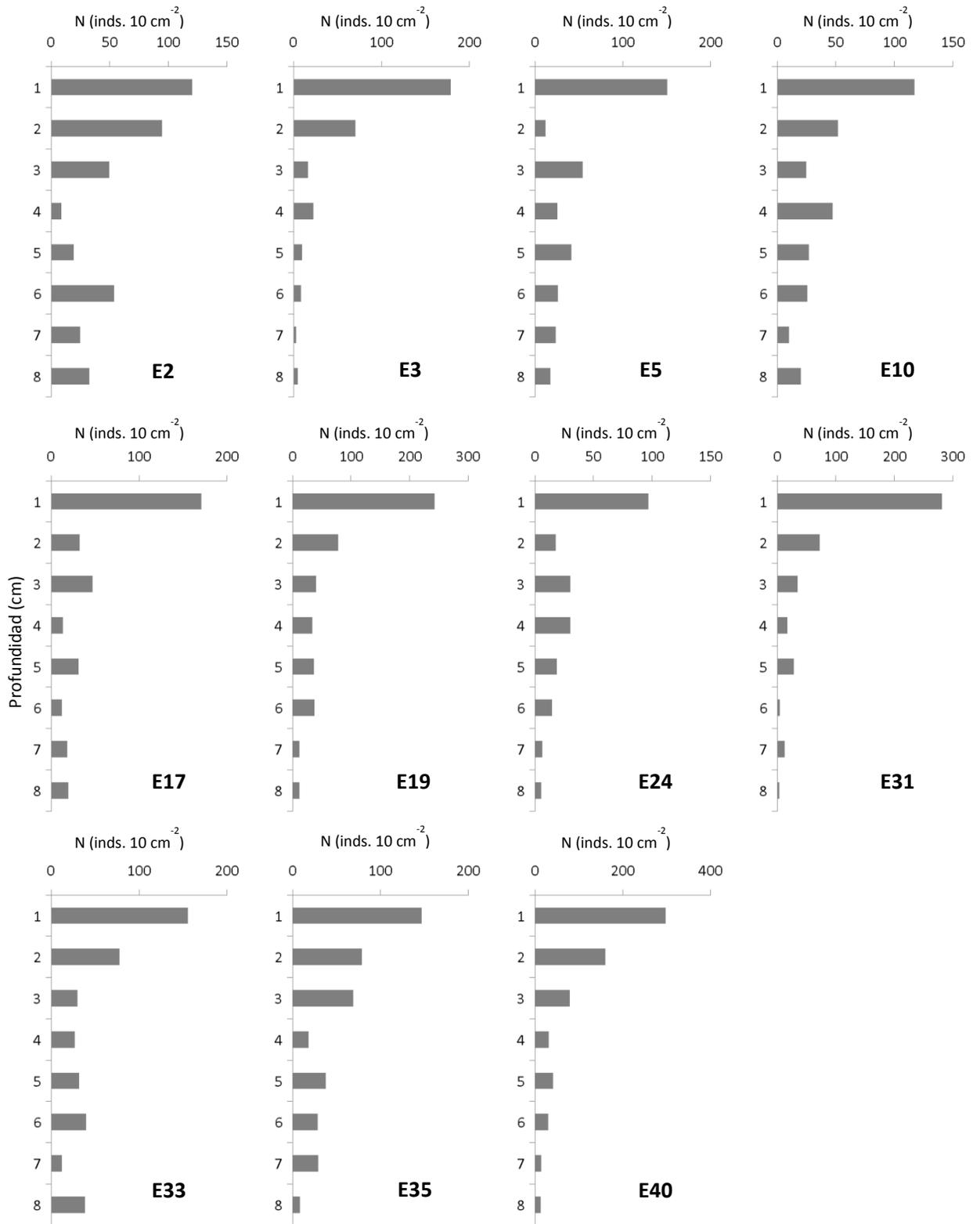


Figura 12. Distribución vertical de la meiofauna en las once estaciones recolectadas en XIXIMI-2 en el Golfo de México.

6.1.2.4 Distribución espacial

Se realizó un análisis MDS con el objetivo de identificar las posibles similitudes entre las estaciones integrando la comunidad de todo el núcleo de sedimento. El análisis pudo diferenciar todas las estaciones, es decir, no existió un solapamiento entre estaciones como sucedió en el primer crucero (Figura 7). Cabe mencionar que de las 3 estaciones que fueron altamente similares en XIXIMI-1 (E35, E36 y E43), sólo la estación E36 fue visitada en el crucero XIXIMI-2. La distribución espacial de las 11 estaciones en el segundo crucero no parece reflejar un patrón geográfico, es decir, las estaciones geográficamente cercanas no se agruparon en el MDS; con la posible excepción de las estaciones E3 y E5. (Figura 13a-b).

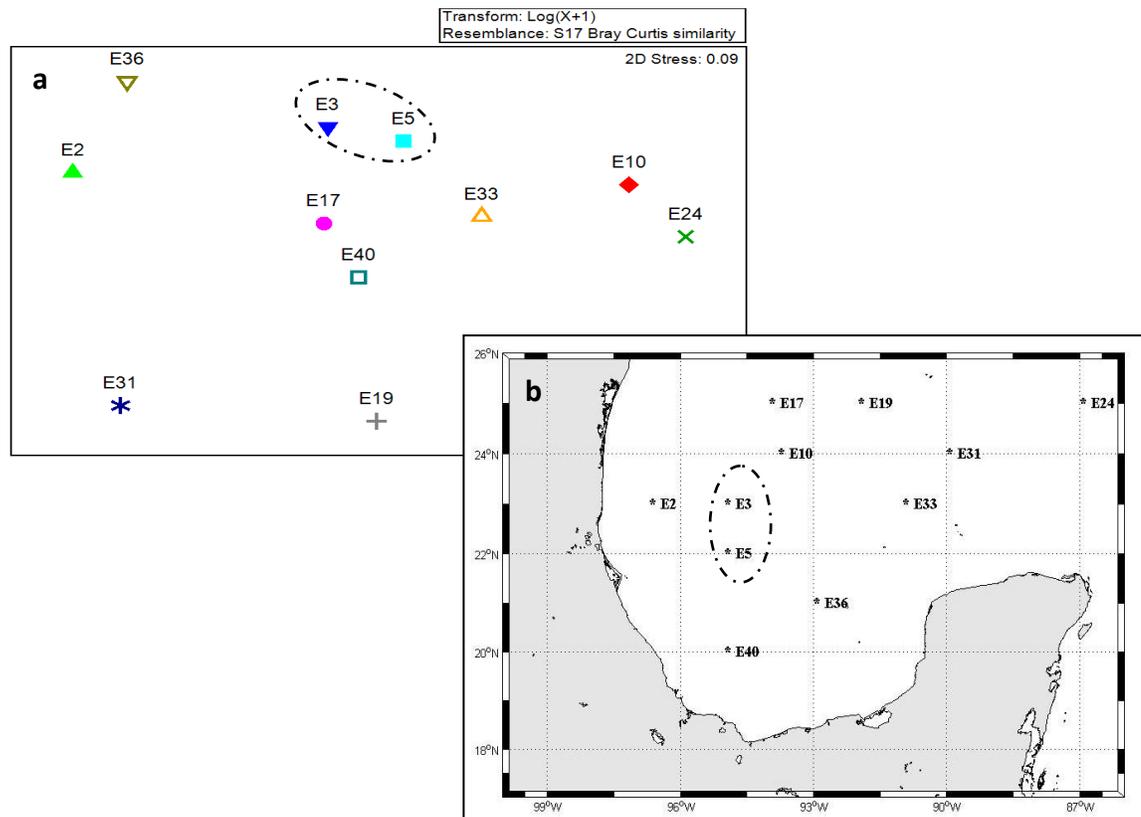


Figura 13. a, Análisis de proximidad (MDS) para los datos derivados de la meiofauna de las once estaciones del Golfo de México. b, Mapa del área de estudio con las estaciones recolectadas en la campaña XIXIMI-2 en el Golfo de México.

Al igual que en el XIXIMI-1, cuando consideramos el componente vertical (los diferentes niveles) de cada estación en el MDS, tampoco se observa un patrón de distribución espacial por estación, es decir, los niveles de una misma estación no se agrupan (Figura 14a).

Por otro lado, al codificar los estratos en función de su profundidad en el sedimento podemos observar una agrupación en el MDS, al igual que sucedió en XIXIMI-1. En efecto, los niveles de una misma profundidad perteneciente a diferentes estaciones se agrupan reflejando la similitud en la estructura de sus comunidades y, una vez más, destacando la importancia del componente vertical para la distribución espacial de las estaciones. Al igual que en el primer crucero, podemos identificar claramente un gradiente desde los niveles superiores hacia los niveles más inferiores (Figura 14 b). Dicho gradiente es más conspicuo cuando analizamos solamente los primeros niveles (0-4 cm) de cada estación (Figura 14c).

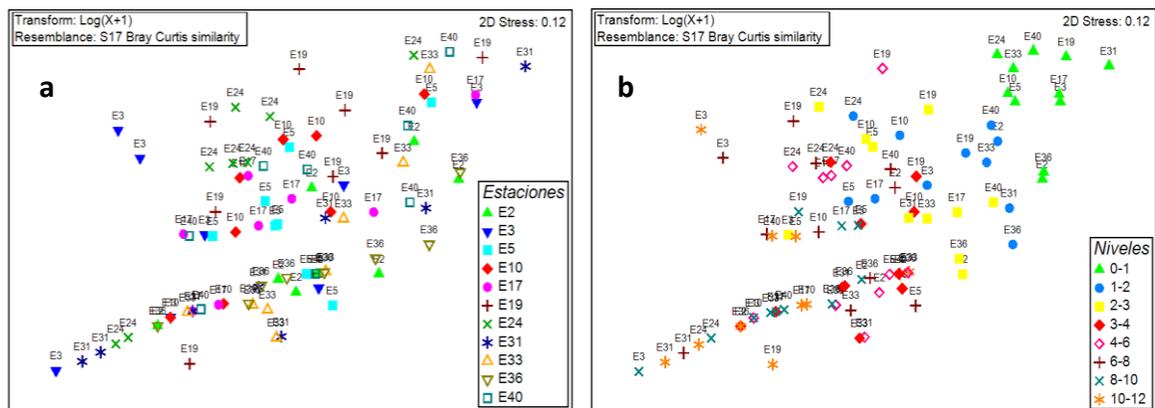
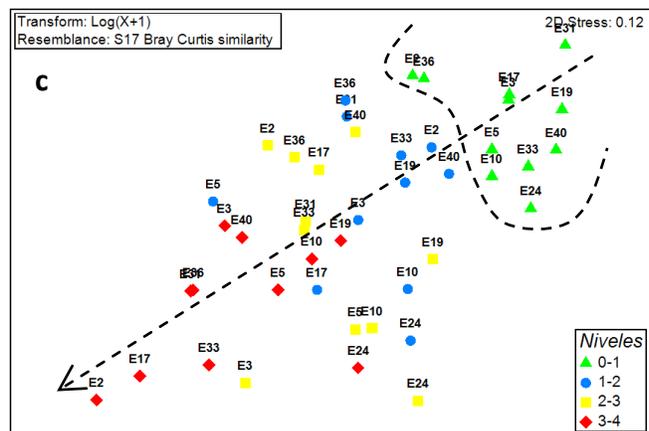


Figura 14. Análisis de escalamiento multidimensional para los datos derivados de la composición de la meiofauna de las once estaciones muestreadas en el Golfo de México durante la campaña XIXIMI-2. a, símbolos representan las estaciones (distribución espacial); b, símbolos representan niveles dentro del sedimento (distribución vertical); c, distribución espacial de acuerdo a los niveles (énfasis a los primeros niveles de 0-4 cm).



6.1.3 Variación temporal de la estructura meiofaunal: XIXIMI-1 vs. XIXIMI-2

6.1.3.1 Abundancia

Sólo tres de las estaciones fueron visitadas en ambas campañas oceanográficas, lo que hace posible comparar sus valores de abundancia así como su composición de la meiofauna. La abundancia de la meiofauna no presentó una gran variación en dichas estaciones, manteniendo valores muy similares entre ambos cruceros (Figura 13). En dos de las estaciones (E3 y E40) se presentaron valores ligeramente más altos en el segundo crucero (XIXIMI-2), mientras que la estación E36 presentó una ligera disminución en la densidad en ese mismo crucero (Figura 13).

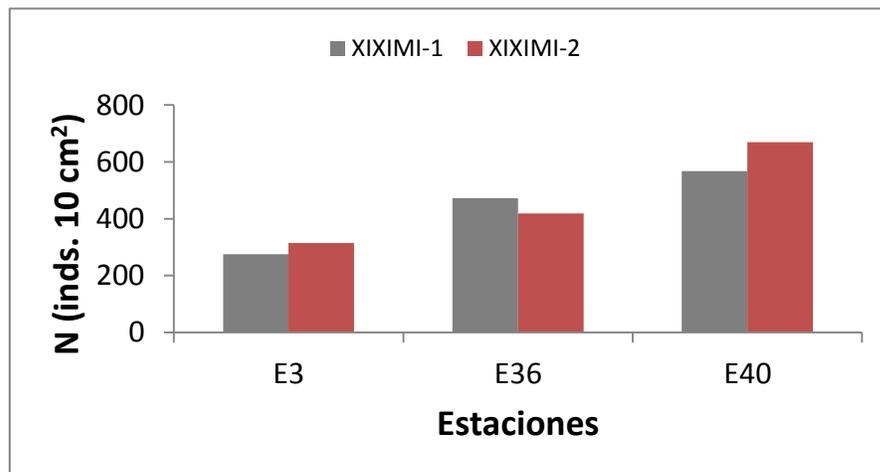


Figura 15. Abundancia de la meiofauna en las 3 estaciones repetidas en las campañas XIXIMI-1 y XIXIMI-2 en el Golfo de México.

6.1.3.2 Composición de la meiofauna

Comparando la meiofauna de los dos cruceros observamos algunas pequeñas diferencias en su composición. En el XIXIMI-1 se encontraron siete grupos meiofaunales; mismos que también ocurrieron en el XIXIMI-2 aunque en este último aparecieron otros dos grupos meiofaunales, Rotifera y Tardigrada (Figura 16). En el crucero XIXIMI-2, la abundancia de Ostracoda y Oligochaeta disminuyó en relación al XIXIMI-1. Por otra parte,

Copepoda, Turbellaria y Polychaeta fueron más abundantes en el XIXIMI-2, mientras que Gastrotricha mantuvo la misma abundancia en ambos cruceros. Nematoda, Copepoda y Turbellaria fueron los taxones más representativos en ambos los cruceros (Figura 16).

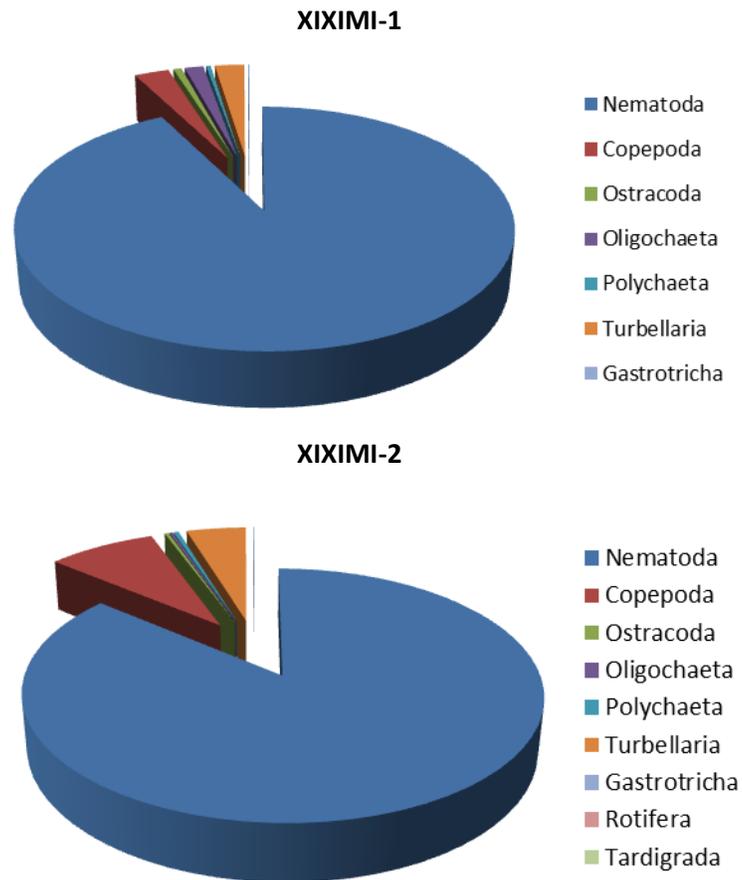


Figura 16. Composición total de la meiofauna recolectada en las campañas XIXIMI-1 y XIXIMI-2 en el Golfo de México.

6.1.3.3 Distribución vertical

Comparando la distribución vertical de los valores de densidad de la meiofauna en el sedimento, las estaciones E36 y E40 presentaron el mismo patrón típico en ambos cruceros (XIXIMI-1 y XIXIMI-2), es decir, mayores valores de densidad en la superficie del sedimento (primeros niveles) disminuyendo gradualmente con la profundidad (Figura 17). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la estación E3 no mostró un mismo patrón para los dos cruceros. En XIXIMI-1 se observó una distribución mucho más homogénea de la densidad meiofaunal en los diferentes estratos del sedimento.

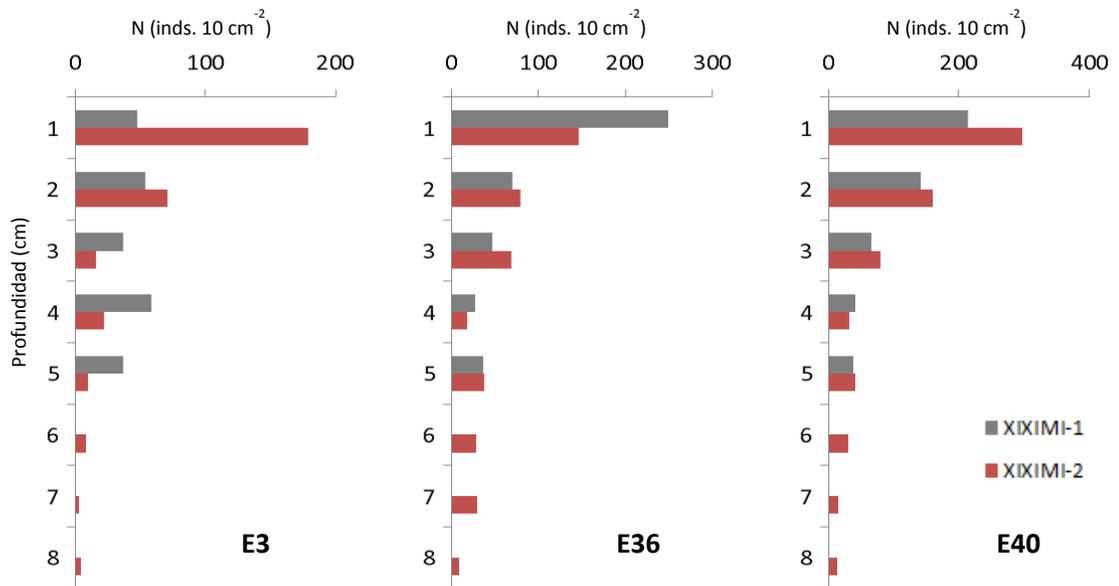


Figura 17. Distribución vertical de la meiofauna en las estaciones repetidas en las campañas XIXIMI-1 y XIXIMI-2 en el Golfo de México.

De hecho, el mayor valor de abundancia para esa estación en el primer crucero ocurrió en el nivel de 4 cm. En el segundo crucero (XIXIMI-2), la distribución de la densidad meiofaunal en la estación E3 sí se asemeja a los patrones de distribución vertical que hemos visto en las demás estaciones, con mayores valores en la superficie y una disminución significativa hacia los niveles inferiores, casi llegando a cero (Figura 17).

Se realizó un análisis MDS para los datos de abundancia de la meiofauna, con el objetivo de identificar las posibles similitudes entre los dos cruceros (XIXIMI-1 y XIXIMI-2) (Figura 18). El análisis pudo diferenciar claramente los dos cruceros, es decir, no existió un solapamiento entre estaciones. De hecho podemos observar un resultado inesperado, donde se puede observar que ni las estaciones que se repitieron en ambos cruceros muestran ser similares, apareciendo completamente alejadas en el espacio bi-dimensional (área circulada en el gráfico) (Figura 18).

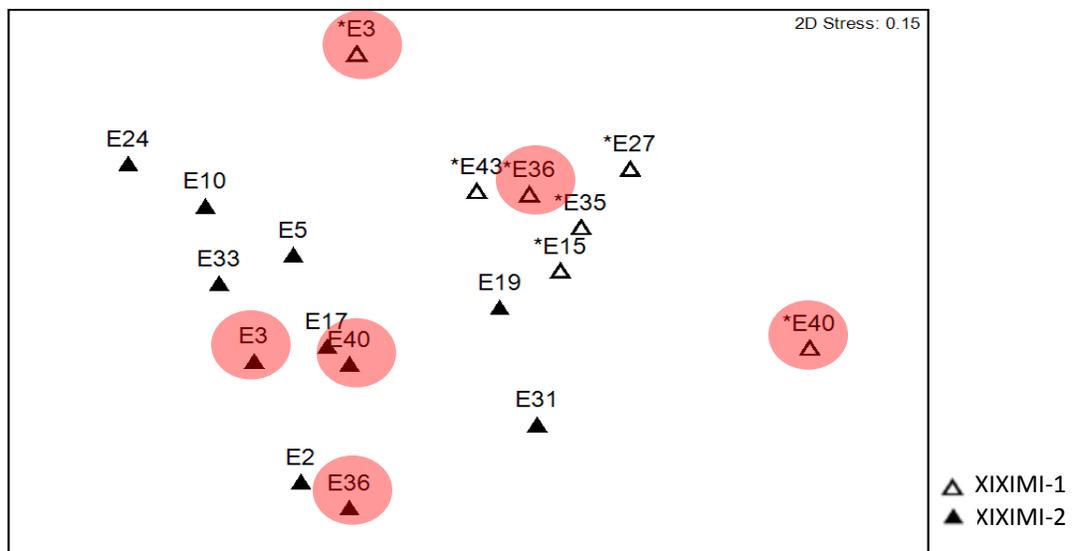


Figura 18. Análisis de proximidad (MDS) para los datos derivados de la meiofauna de las estaciones recolectadas en las campañas XIXIMI-1 y XIXIMI-2 en el Golfo de México.

6.2 Nematofauna

6.2.1 Abundancia y diversidad del crucero XIXIMI-1

En el crucero XIXIMI-1, el grupo más importante, es decir Nematoda, fue identificado hasta el nivel genérico. La nematofauna dominó en todas las siete estaciones del océano profundo del Golfo de México con valores de abundancia entre 257 y 774 inds. 10 cm^{-2} , y con un promedio de 464 inds. 10 cm^{-2} (Figura 19a). La mayor y menor

abundancia ocurrieron en las estaciones E15 y E3, respectivamente. La estación E43 presentó valores por debajo del promedio asemejándose a la estación E3, mientras que las demás estaciones (E40, E36, E35 y E27) presentaron valores cercanos al promedio (Figura 19a). La contribución del grupo Nematoda fue arriba del 90% en casi todas las estaciones, con excepción de la estación E35. En esa estación, el grupo Nematoda representó el 89% de la meiofauna identificada (Figura 19b).

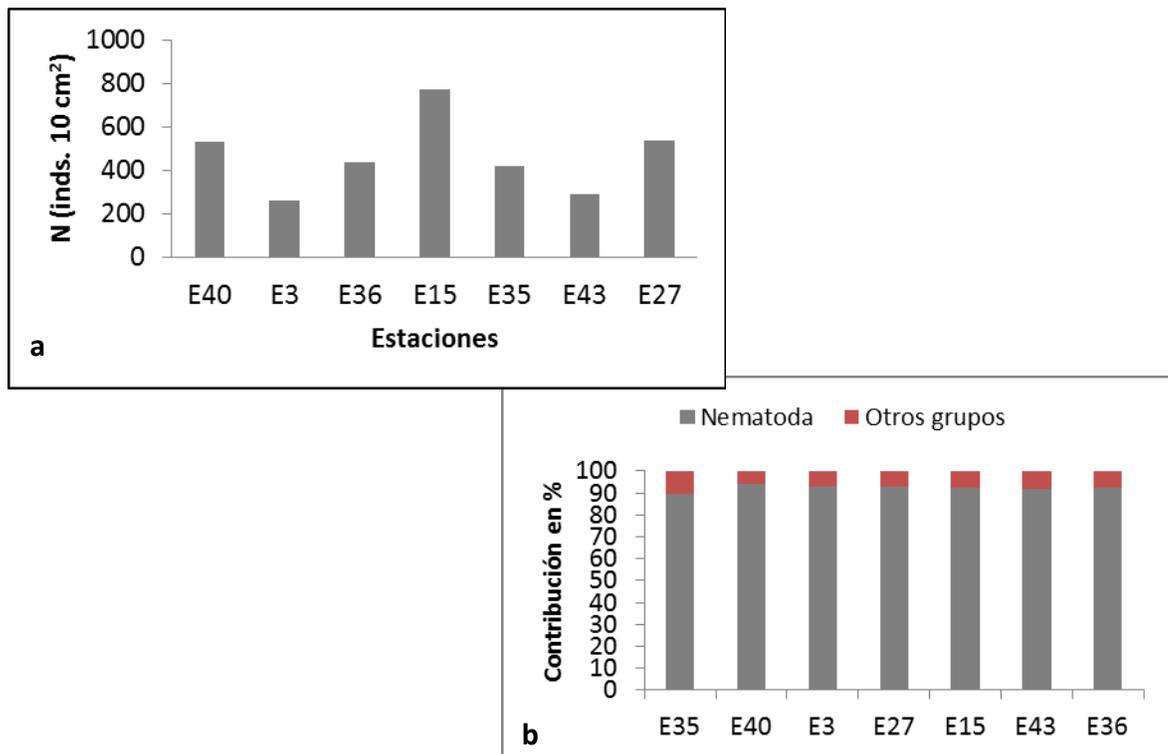


Figura 19. Abundancia y contribución de la nematofauna. a, Abundancia total de la nematofauna en las siete estaciones del Golfo de México muestreadas en el crucero XIXIMI-1. b, Contribución de la nematofauna y otros grupos para la composición de la meiofauna recolectada en la campaña XIXIMI-1 en el Golfo de México.

En total, 380 nemátodos fueron identificados a partir del 10% de la nematofauna proveniente de las siete estaciones muestreadas en el océano profundo del Golfo de México. Se identificaron 70 géneros de nemátodos pertenecientes a 30 familias (Tabla 3). Entre las familias de Nematoda, Cyatholaimidae fue la más diversa con seis géneros. Por

otro lado, la familia Aphelenchoididae representada por un único género, *Aphelenchoides*, fue la más importante en términos de abundancia.

Considerando la abundancia total de la nematofauna, los géneros más representativos fueron *Aphelenchoides* (13%), *Microlaimus* (7%), *Desmoscolex* (6%) y *Halalaimus* (6%). Los géneros *Molgolaimus* y *Amphimonhystrella* representaron el 4% del total, mientras que *Diplopeltula*, *Aponema* y *Pselionema* apenas un 3%. Juntos, esos géneros representan el 49% de toda la nematofauna identificada (Figura 20a). Los demás géneros (69 en total) presentaron bajos valores de abundancia y juntos representan el 51% de la nematofauna.

Aphelenchoides fue el género dominante en la mayoría de las estaciones muestreadas (E35, E40, E3, E43 y E36) (Figura 20b). La estación E36 mostró la abundancia más alta para este género, representando el 31% de la nematofauna en esa estación. Las estaciones E27 y E15 presentaron el mayor número de géneros, 39 y 37 respectivamente (Tabla 4), y en ellas fue el género *Microlaimus* el más abundante, contribuyendo con 11% y 8% de los organismos, respectivamente (Figura 20b).

Tabla 3. Composición de la nematofauna por familia y género en las siete estaciones muestreadas en el Golfo de México durante la campaña XIXIMI-1. Número de individuos estimados por estación; Número total de Individuos estimados en todas las estaciones (N) y su densidad estandarizada (D, Inds. 10 cm⁻²).

Familia	Género	E40	E3	E36	E15	E35	E43	E27	N	D
Aegialoalaimidae	<i>Aegialoalaimus</i>	0	0	80	40	80	40	0	240	47
	<i>Diplopeltoides</i>	0	0	0	120	0	0	0	120	23
Anoplostomatidae	<i>Anoplostoma</i>	0	0	40	0	40	0	0	80	16
Anticomidae	<i>Anticoma</i>	0	0	0	0	0	0	40	40	8
	<i>Cephalanticoma</i>	0	40	0	0	0	0	0	40	8
Aphalenchidae	<i>Aphelenchoides</i>	320	240	640	0	480	240	40	1960	381
Axonolaimidae	<i>Axonolaimus</i>	0	0	0	40	0	40	40	120	23
Ceramonematidae	<i>Metadasynemella</i>	0	0	0	80	0	40	80	200	39
	<i>Pselionema</i>	80	0	80	80	40	80	80	440	85
Chomadoridae	<i>Acantholaimus</i>	0	0	40	160	0	0	0	200	39
	<i>Actinonema</i>	0	0	0	0	0	0	40	40	8
	<i>Endeolophos</i>	0	80	0	0	0	0	0	80	16
Comesomatidae	<i>Hopperia</i>	0	0	40	0	40	0	0	80	16
	<i>Laimella</i>	0	0	0	0	0	0	40	40	8
	<i>Sabatieria</i>	0	40	0	40	0	0	0	80	16
Cyatholaimidae	<i>Acanthonchus</i>	0	0	0	40	0	0	0	40	8
	<i>Longicyatholaimus</i>	40	0	0	40	40	0	0	120	23
	<i>Marylynnia</i>	40	40	40	80	40	80	0	320	62
	<i>Minolaimus</i>	0	40	0	0	0	0	0	40	8
	<i>Paralongicyatholaimus</i>	0	0	40	40	40	80	0	200	39
	<i>Praeacanthonchus</i>	40	0	0	80	0	0	160	280	54
Desmodoridae	<i>Desmodora</i>	40	0	0	80	0	0	0	120	23
	<i>Molgolaimus</i>	80	0	120	160	160	80	0	600	117
Desmoscolecidae	<i>Calligyryus</i>	40	0	0	0	0	0	0	40	8
	<i>Desmoscolex</i>	240	40	200	240	120	40	40	920	179
	<i>Greeffiella</i>	80	0	80	0	0	80	80	320	62
	<i>Pareudesmoscolex</i>	0	80	80	40	80	80	40	400	78
Diplopeltidae	<i>Campylaimus</i>	40	0	0	40	0	0	0	80	16
	<i>Southerniella</i>	40	40	0	160	0	0	40	280	54
	<i>Diplopeltula</i>	0	0	120	160	120	0	120	520	101
Enchelidiidae	<i>Belbolla</i>	0	80	40	40	80	40	40	320	62
	<i>Polygastrophora</i>	0	40	0	0	0	0	0	40	8
Epsilonematidae	<i>Epsilonema</i>	0	0	0	40	0	0	0	40	8

Familia	Género	E40	E3	E36	E15	E35	E43	E27	N	D
Ethoracostomopsidae	<i>Enoploides</i>	0	0	0	0	0	0	40	40	8
Haliplectidae	<i>Setoplectus</i>	80	0	0	0	0	0	80	160	31
Ironidae	<i>Syringolaimus</i>	0	0	0	40	0	0	0	40	8
	<i>Thalassironus</i>	40	0	0	0	0	0	0	40	8
	<i>Trissonchulus</i>	80	0	0	40	0	0	0	120	23
Leptolaimidae	<i>Antomicron</i>	80	0	0	80	0	0	40	200	39
	<i>Leptolaimoides</i>	0	0	0	0	0	0	40	40	8
	<i>Leptolaimus</i>	80	0	0	160	80	0	80	400	78
	<i>Procamacolaimus</i>	0	40	0	0	0	0	120	160	31
Leptosomatidae	<i>Leptosomatium</i>	0	0	0	0	0	0	40	40	8
Linhomoeidae	<i>Disconema</i>	40	0	0	40	40	0	0	120	23
	<i>Metadesmolaimus</i>	0	0	0	0	0	0	40	40	8
	<i>Methalinhomoeus</i>	0	0	0	0	0	0	40	40	8
	<i>Terschellingia</i>	0	0	0	0	0	0	40	40	8
Meyliidae	<i>Gerlachius</i>	0	0	40	0	120	80	40	280	54
	<i>Meylia</i>	0	0	0	0	0	0	40	40	8
Microlaimidae	<i>Aponema</i>	0	80	0	240	0	0	160	480	93
	<i>Calomicrolaimus</i>	40	0	40	0	0	0	0	80	16
	<i>Microlaimus</i>	80	80	80	280	200	80	280	1080	210
Monhysteridae	<i>Diplolaimella</i>	40	40	0	160	0	40	40	320	62
	<i>Gammarinema</i>	0	0	0	0	0	0	40	40	8
	<i>Monhystera</i>	0	0	40	0	40	40	0	120	23
Nematoda	<i>Nematoda</i>	40	40	0	0	0	0	40	120	23
Oxystominidae	<i>Halalaimus</i>	200	120	80	240	40	120	80	880	171
	<i>Nemanema</i>	40	0	0	0	0	0	0	40	8
	<i>Oxystomina</i>	40	0	0	40	0	0	40	120	23
	<i>Wieseria</i>	80	0	0	0	0	0	0	80	16
Phanodermatidae	<i>Crenopharynx</i>	40	0	0	80	0	0	0	120	23
	<i>Phanoderma</i>	40	0	0	0	0	0	0	40	8
Selachinematidae	<i>Gammanema</i>	0	0	0	40	0	0	40	80	16
	<i>Halichoanolaimus</i>	0	0	0	0	0	0	40	40	8
Sphaerolaimidae	<i>Metasphaerolaimus</i>	120	0	40	80	0	80	40	360	70
	<i>Sphaerolaimus</i>	0	0	0	0	0	0	40	40	8
Tarvaiidae	<i>Tarvaia</i>	40	0	0	40	0	0	0	80	16
Xyalidae	<i>Ammotheristus</i>	0	0	40	0	80	0	0	120	23
	<i>Amphimonhystrella</i>	40	0	40	200	40	40	160	520	101
	<i>Elzalia</i>	80	0	0	80	0	0	0	160	31
	<i>Linhystera</i>	0	0	0	0	0	0	40	40	8

Por lo general, los valores mayores de los índices de diversidad se encontraron en las estaciones E15, E27 y E40 (Tabla 4). La estación E27 presentó el mayor número de géneros (39). Los demás índices, d y H' fueron muy similares entre esas tres estaciones, aunque siempre mayores en la estación E27. El mayor valor de equitabilidad (J') se observó en la estación E43. La estación E3 presentó los menores valores para todos los índices. Basado en los valores de los índices univariados (Tabla 4), se pudo observar que las estaciones con valores altos de diversidad (d y $H'(\log_2)$) también fueron las que presentaron valores altos de abundancia (N). Por lo tanto, esas estaciones fueron agrupadas (E15, E27, y E40; Grupo 1) representando estaciones con valores altos y comparadas con las estaciones de menores valores (E3, E35, E36, y E43; Grupo 2).

Aunque esa agrupación es un tanto arbitraria, eso nos permitió hacer una inferencia estadística de esos valores. A través de la prueba estadística t-student se pudo observar que todos los índices univariados, con excepción de la equitabilidad (J'), fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) entre los dos grupos. Por lo tanto ese resultado apoya la idea de que la nematofauna de las estaciones E15, E27 y E40 (Grupo 1) fue más diversa y abundante en la campaña XIXIMI-I.

Tabla 4. Índices univariados de las siete estaciones calculados a partir de la nematofauna muestreada en la campaña XIXIMI-1 en el Golfo de México. Número de géneros (S), Número de individuos (N), Riqueza de especies (d), Equitabilidad (J'), Diversidad de Shannon-Wiener (H').

Estación	Prof. (m)	N	S	d	J'	H'(log₂)
E15	2416	3640	37	4.4	0.9	4.9
E27	1233	2560	39	4.8	0.9	5.0
E3	3569	1160	17	2.3	0.9	3.8
E36	2549	2040	22	2.8	0.8	3.8
E35	2464	2000	21	2.6	0.9	3.9
E43	3297	1400	19	2.5	1.0	4.0
E40	2758	2400	32	4.0	0.9	4.6

Tabla 5. Comparación de los índices univariados (N, S, d, H'(log₂) y J') entre Grupo 1 (E15, E27 y E40) y Grupo 2 (E3, E36, E35 y E43) a través de la prueba t-student. Valores de t-student y de significancia (*P < 0.05, **P < 0.005, ***P < 0.0005, - P > 0.05) son presentados.

Variable	t-student	P
N	2.92	*
S	7.45	**
D	8.07	***
J'	0.00	n.s.
H'(log₂)	8.30	***

n.s., no significativa

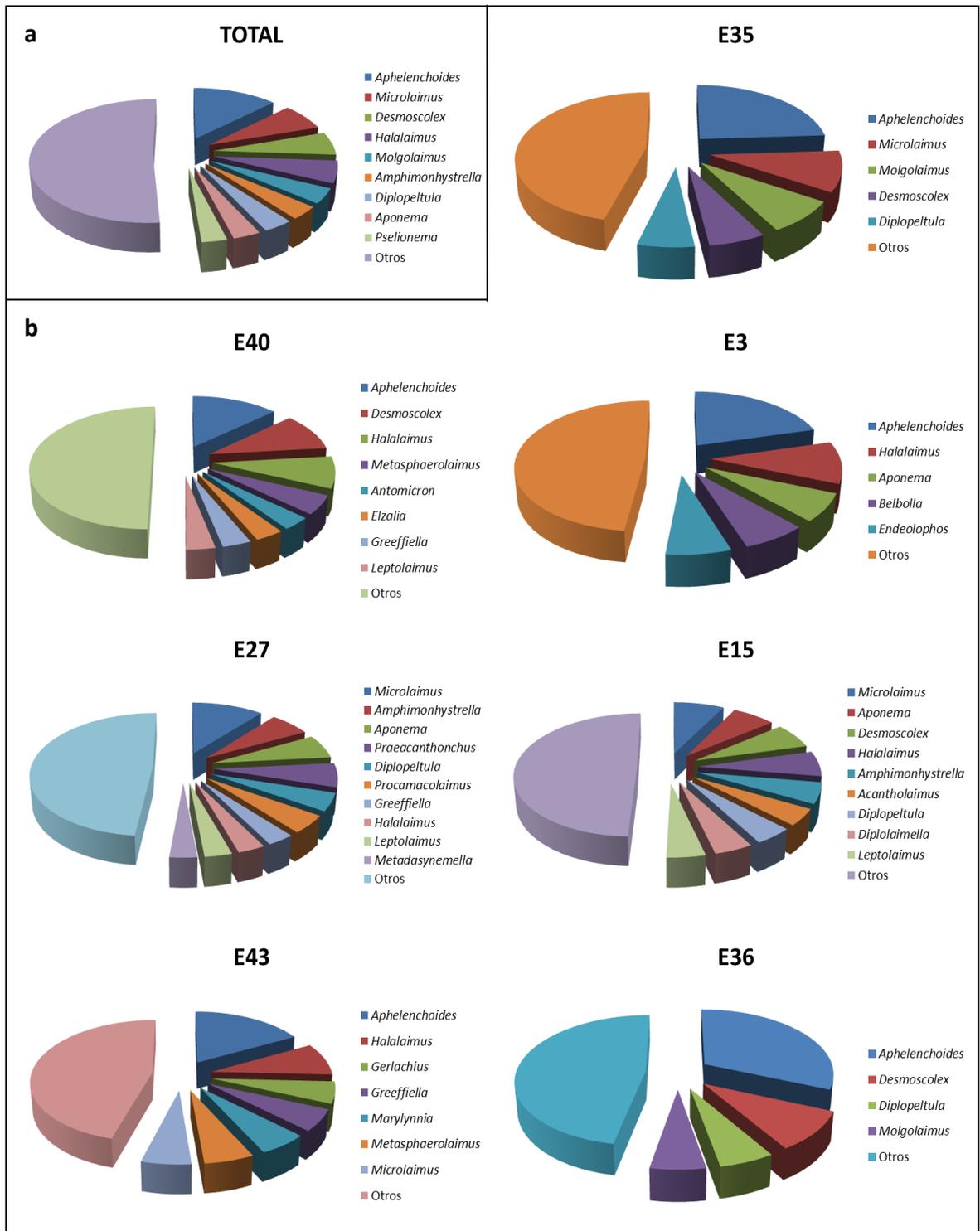


Figura 20. Géneros encontrados en la nematofauna recolectada en la campaña XIXIMI-1. a, Composición total de la nematofauna; b, Composición de la nematofauna en las siete estaciones.

6.2.1.1 Distribución vertical

6.2.1.1.1 Abundancia

Analizando el perfil vertical de los valores de abundancia del grupo Nematoda observamos la misma tendencia encontrada en los perfiles verticales de la abundancia total de la meiofauna, eso se debe a que Nematoda es el grupo dominante (Figura 21). Tal tendencia se caracteriza por mayores valores de abundancia en los niveles superficiales con una disminución hasta las mayores profundidades en el sedimento. La distribución vertical de la abundancia de los nemátodos exhibió un patrón similar en todas las estaciones, excepto en la estación E3. Una vez más, la estación E3 fue caracterizada por valores casi homogéneos en el núcleo de sedimento. La estación E43, aunque sigue el patrón general de distribución vertical, presentó cambios de abundancia menos drásticos en el núcleo.

6.2.1.1.2 Número de géneros

El número de géneros de Nematoda presentó una distribución vertical similar al patrón de la abundancia, es decir, se registró un número mayor de géneros en la superficie del núcleo, disminuyendo hacia profundidades mayores (Figura 22). La estación E15 registró la mayor cantidad de géneros, con 27 de los 39 registrados en el primer centímetro, mientras que en el último centímetro fueron registrados apenas 3 géneros. Valores más bajos fueron registrados en la estación E43, variando entre 3 y 11 géneros en el sedimento. Sin embargo, el número de géneros para esta estación siguió el patrón general con una mayor cantidad de géneros en la superficie y disminuyendo hacia los niveles inferiores. Los menores registros se dieron en la estación E3, con valores entre 2 y 7 géneros. Como se ha mencionado repetidamente, esta estación mostró una estructura vertical de la meiofauna atípica.

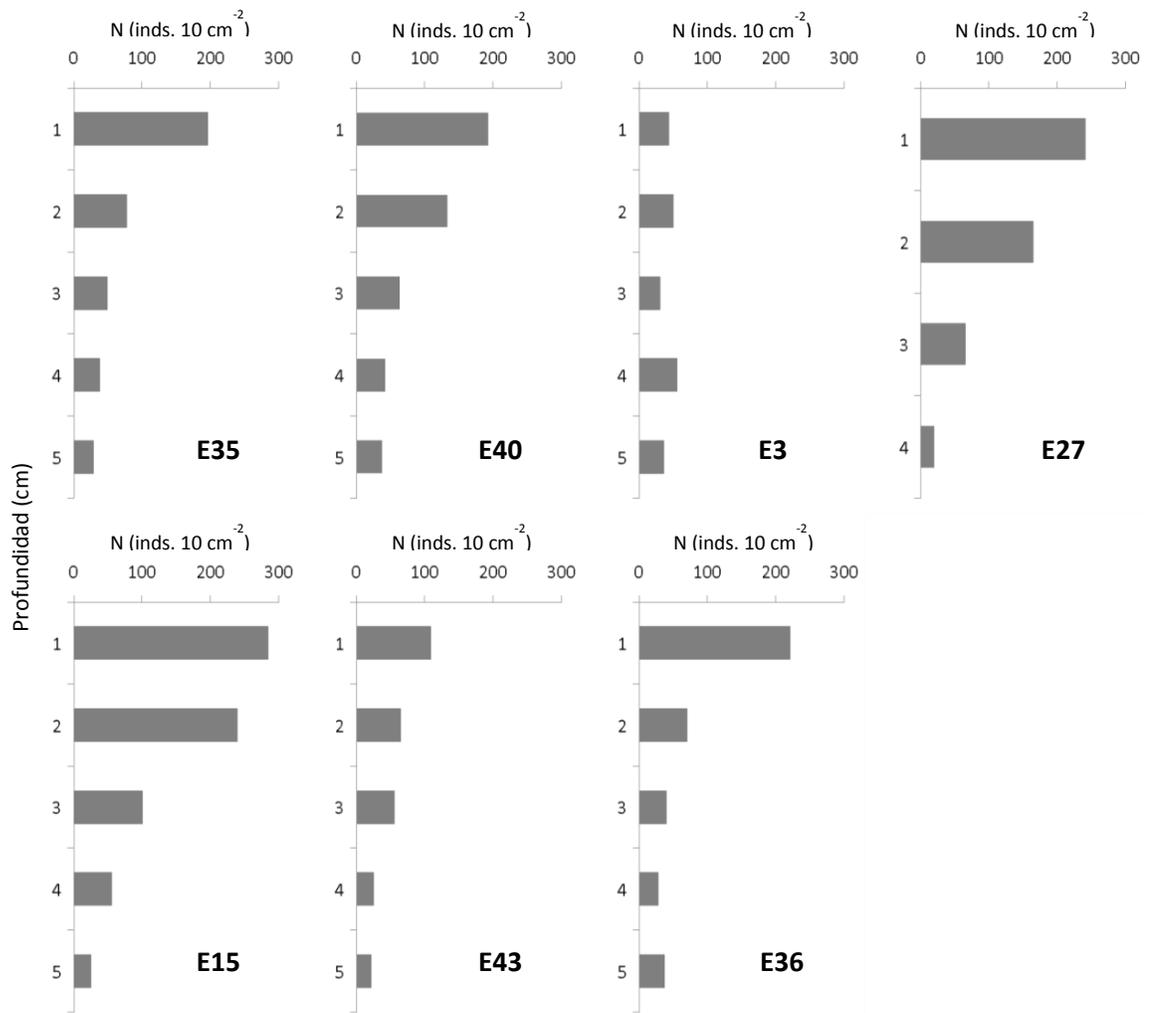


Figura 21. Distribución vertical de la abundancia de la nematofauna en las siete estaciones recolectadas en XIXIMI-1 en el Golfo de México.

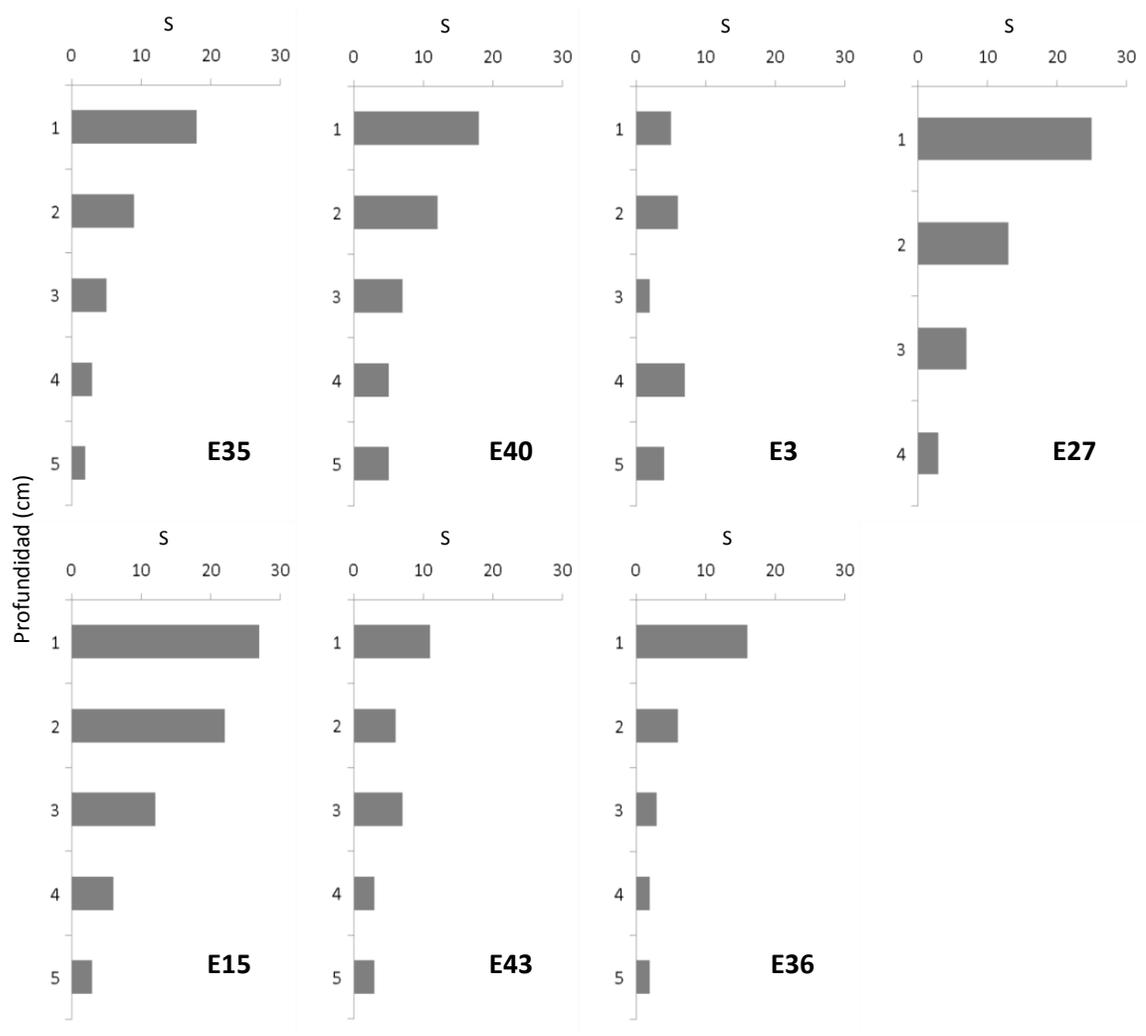


Figura 22. Distribución vertical del número de géneros lo largo de las siete estaciones recolectadas en XIXIMI-1 en el Golfo de México.

6.2.1.1.3 Equitabilidad

Se observaron altos valores de equitabilidad (arriba de 0.8) en las siete estaciones (Tabla 4). Cuando se analizó la distribución vertical de la equitabilidad, se encontraron valores más altos, por encima de 0.9 (Figura 23). Contrariamente a la abundancia y a la diversidad alfa (número de géneros), lo que vemos en el índice de equitabilidad es un incremento de los valores con respecto a la profundidad en el sedimento. El valor máximo (1.0) fue registrado en todas las estaciones, excepto en la E36. A pesar de la homogeneidad en la distribución vertical de los valores de equitabilidad, podemos observar que los mayores valores fueron registrados a mayores profundidades en el sedimento, lo cual podemos observar claramente en las estaciones E40 y E43. La estación E36 fue la única que demostró un patrón diferenciado de las demás estaciones, donde los valores de equitabilidad disminuyeron con la profundidad en el sedimento, alcanzando valores próximos a 0.7 (Figura 23).

Los valores altos de equitabilidad indican que no existe una alta dominancia por parte de algún género, o sea, en general la abundancia de los géneros de nemátodos se distribuyen de manera uniforme. Por otro lado el decremento de la equitabilidad en la estación E36 sugiere que hay una dominancia del género *Aphelenchoides* conforme aumenta la profundidad en el sedimento.

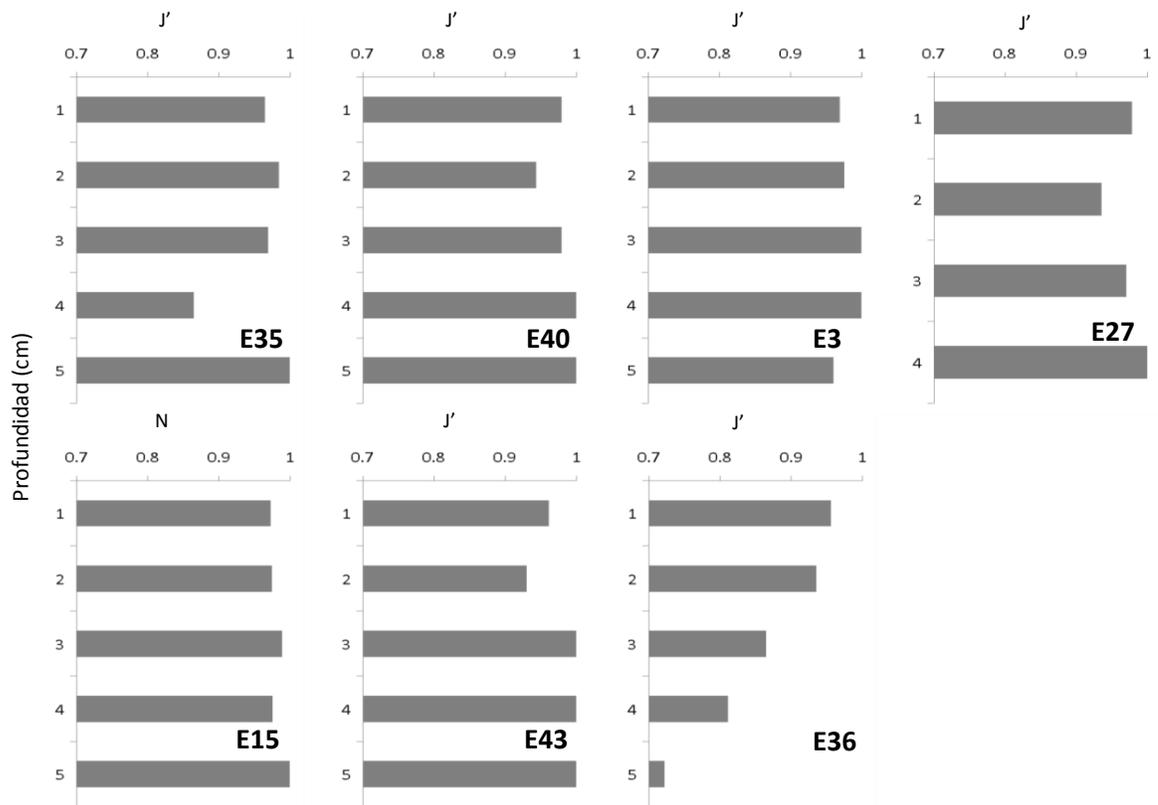


Figura 23. Distribución vertical de la equitabilidad en las siete estaciones recolectadas en XIXIMI-1 en el Golfo de México.

6.2.1.1.4 Diversidad

El índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') mostró un mismo patrón vertical en las estaciones (Figs. 24 y 25). Los mayores valores fueron registrados en la superficie del sedimento en donde la fauna es más abundante, y disminuyeron con la profundidad. Los mayores valores de diversidad fueron observados en la estación E15, variando entre 1.6 (nivel 5) y 4.6 (nivel 1), mientras que los menores se encontraron en la estación E3, donde variaron entre 1 y 2.8 en los niveles 3 y 4 respectivamente (Figuras 24 y 25).

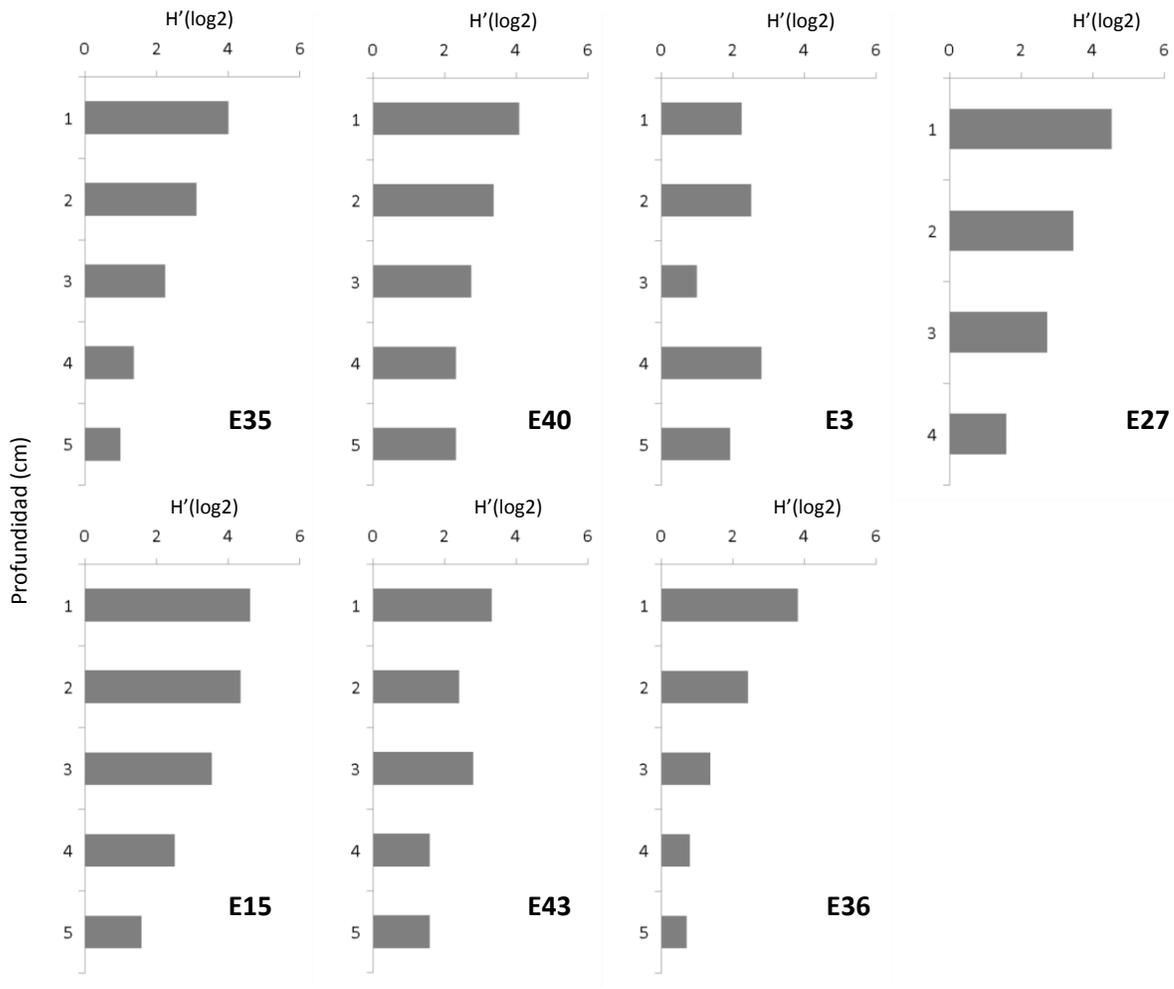
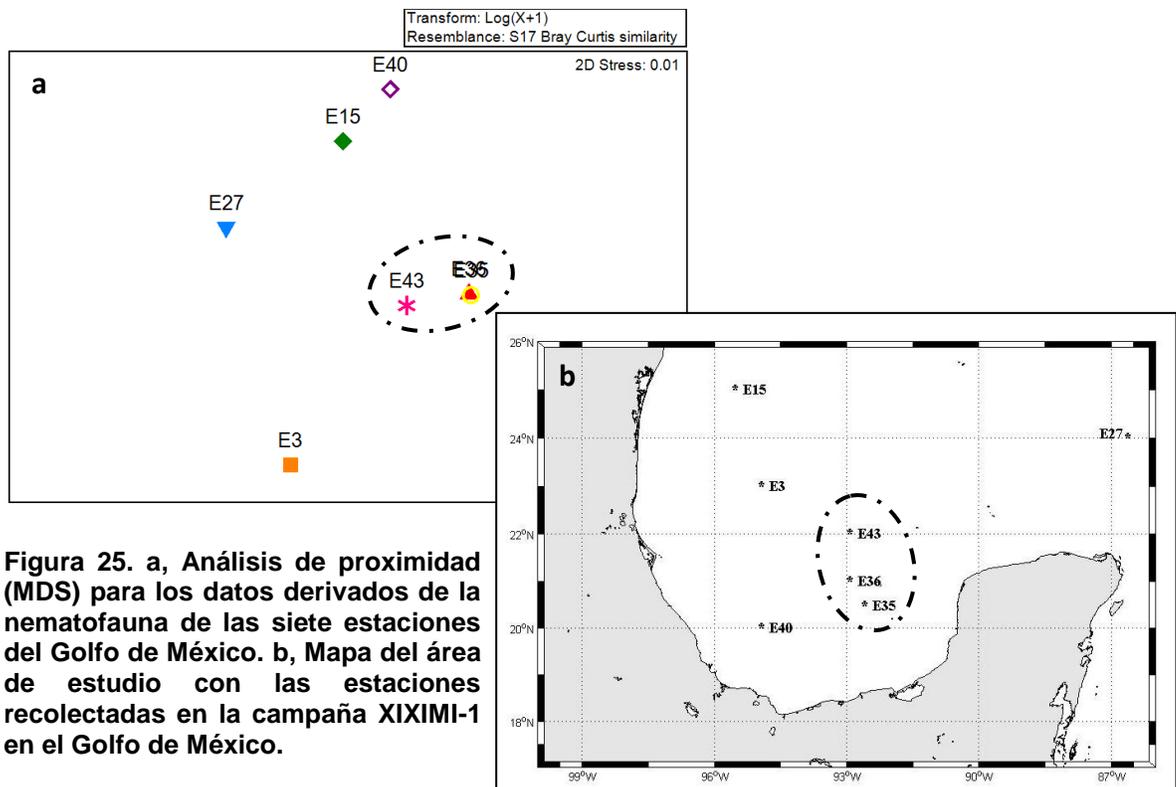


Figura 24. Distribución vertical de la diversidad de Shannon-Wiener en las siete estaciones recolectadas en XIXIMI-1 en el Golfo de México.

6.2.1.2 Distribución espacial

A partir de los valores de abundancia de los géneros de Nematoda presentes en la comunidad meiofaunal se realizó un análisis de escalamiento multidimensional, con el propósito de identificar similitudes en la estructura de la comunidad nematofáunica encontrada en las estaciones. EL MDS aplicado a los valores de abundancia reveló similitudes entre algunas estaciones, lo cual podemos observar a través de los traslapes en

la gráfica bidimensional, como es el caso de las estaciones E43, E36 y E35 (Figura 25a), como se había observado en el análisis multivariado de toda la comunidad meiofaunal (Figura 7a). Asimismo, las estaciones E15 y E40 también presentaron una cierta similitud, estando distribuidas de forma cercana en el MDS. Las estaciones E27 y E3 fueron las más distintas. De cierta forma, como se observó en el análisis de la comunidad meiofaunal total, la distribución espacial de las estaciones parece reflejar un patrón geográfico, es decir, estaciones geográficamente cercanas (E43, E36 y E35) están agrupadas en el MDS (Figura 25b). Sin embargo, la cercanía de las estaciones E15 y E40 en el MDS se debe a otros factores ya que esas estaciones no son geográficamente cercanas (Figura 25b).



En el MDS de los estratos verticales de cada estación no se observó el agrupamiento de los diferentes niveles de una misma estación, por lo cual no se detecta ninguno patrón de distribución geográfico (Figura 26a). Al considerar la comparación entre los niveles de las diferentes estaciones, el patrón de distribución parece resaltar el agrupamiento de los mismos niveles provenientes de estaciones distintas (Figura 26b). Al

analizar solamente los primeros niveles de las estaciones podemos observar que el patrón de agrupamiento por niveles se torna aún más claro (Figura 26c). Los niveles 0-1 de las diferentes estaciones parecen estar más agrupados entre sí en el MDS. Para los niveles 1-2 y 2-3, las muestras se encuentran más dispersas en el MDS, sin embargo, la transición de los niveles superiores a los niveles inferiores es aún evidente (Figura 26c).

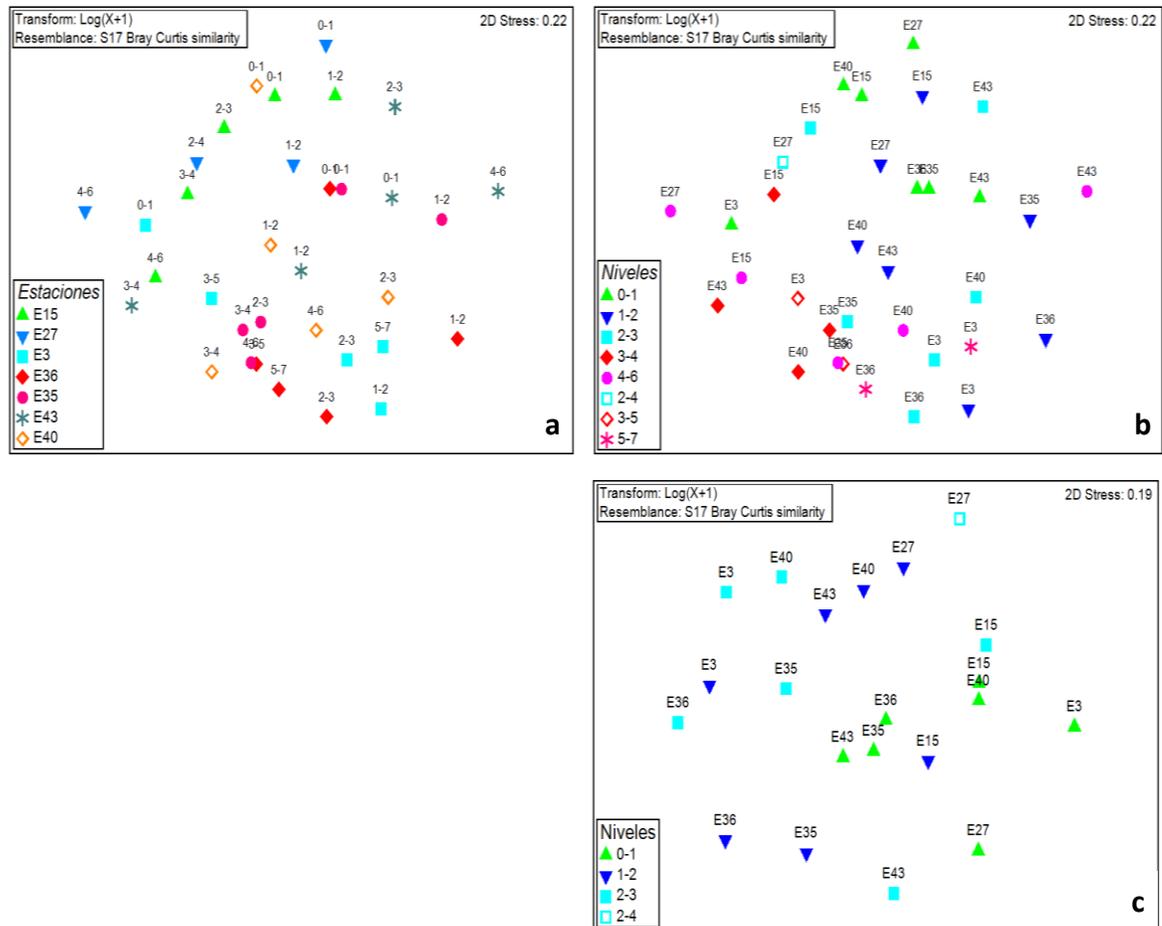


Figura 26. Análisis de proximidad para los datos derivados de la composición de la nematofauna de las siete estaciones muestreadas en el Golfo de México durante la campaña XIXIMI-1. a, símbolos representan las estaciones (distribución espacial); b, símbolos representan niveles dentro del sedimento (distribución vertical); c, distribución espacial de acuerdo a los niveles (énfasis a los primeros niveles de 0-4 cm)

6.3. Parámetros ambientales

6.3.1 Granulometría

Se llevaron a cabo análisis granulométricos de los sedimentos recolectados en la campaña XIXIMI-1. Los resultados demuestran que los sedimentos del océano profundo en el Golfo de México estuvieron compuestos fundamentalmente por limo (58%-74% de la muestra). Valores substanciales de arcilla también fueron registrados en todas las estaciones, excepto en la estación E27 (ver abajo). Por otro lado, la contribución de sedimentos más gruesos como arena fue limitada (Figura 27). A partir del tamaño medio del grano se observó que la mayor parte de los niveles de sedimentos se clasificaron como limo fino= 51%, limo muy fino= 33%, limo grueso= 9% y limo medio= 7% (Tabla 7). Sin embargo, en la estación E35, el estrato superficial del sedimento (1-2cm) fue clasificado como arcilla gruesa (Tabla 7). Caracterizando cada estación como un todo (promedio de los valores) se pudo observar que la mayor parte de las estaciones posee un sedimento clasificado como limo fino. Por otra parte en la estación E15 el sedimento es clasificado como limo muy fino, mientras que la estación E27 fue caracterizada por un sedimento tipo limo grueso (Tabla 6).

Entre las estaciones muestreadas, la estación E27 fue la que más se diferenció del patrón general de composición granulométrica. En dicha estación, se observó un porcentaje mayor de arena (34%) en los sedimentos, mientras que en las demás estaciones dicho porcentaje fue muy bajo (< 8%). Asimismo, la mayor parte del sedimento de dicha estación, E27, siguió siendo compuesta por limo (53%); la arcilla contribuyó apenas con un 8% en la composición granulométrica (Figura 27). El perfil vertical de la estación E27 mostró que el porcentaje de arena fueron muy similares verticalmente (Figura 28).

Los valores de asimetría fueron casi en su totalidad positivos (+) o aproximadamente simétricos (+/-) en los sedimentos, o sea, una tendencia a los sedimentos más finos. Apenas una estación (E3, niveles 0-1 cm y 1-2 cm) presentó asimetría negativa (-), tendiendo a sedimentos limosos más gruesos (Tabla 7).

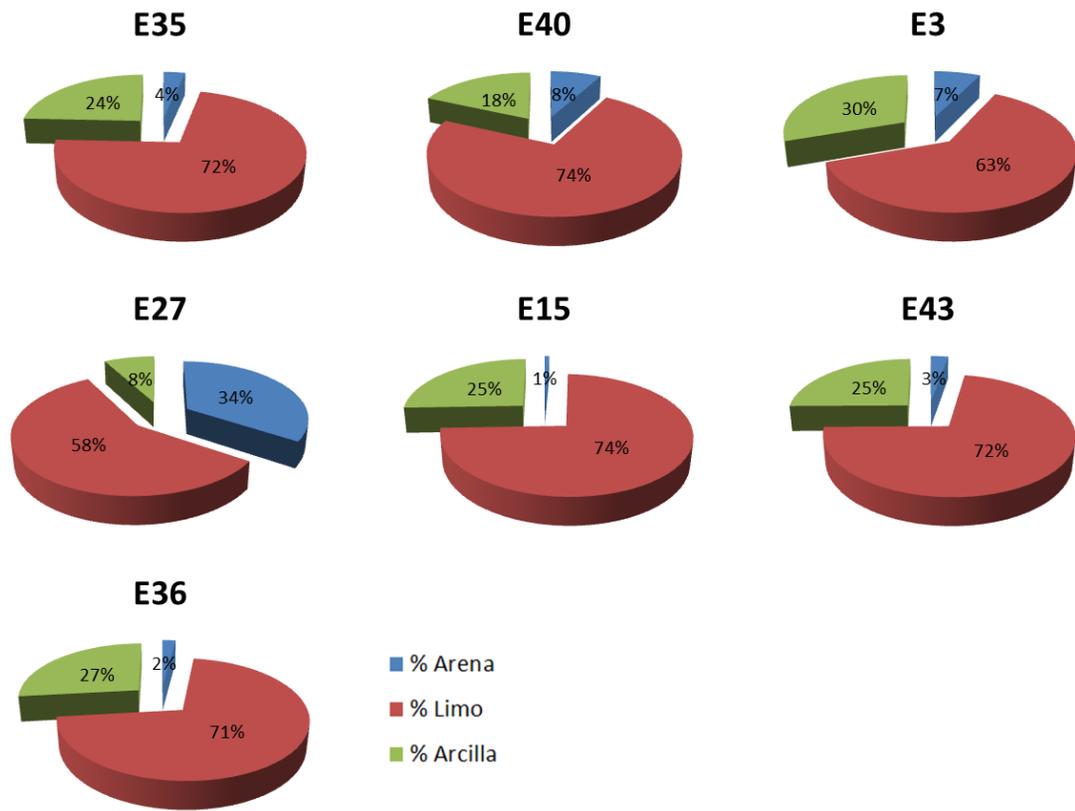


Figura 27. Composición granulométrica de las siete estaciones muestreadas en la campaña XIXIMI-1 a lo largo del Golfo de México.

Tabla. 6 Valores promedios del tamaño medio del grano (μm) del sedimento por nivel con su respectiva clasificación para las estaciones de la campaña XIXIMI-1.

Estación	Media (Promedio)	Clasificación
E40	6.29	Limo fino
E3	6.95	Limo fino
E36	6.97	Limo fino
E15	7.01	Limo muy fino
E35	6.84	Limo fino
E43	6.91	Limo fino
E27	4.83	Limo grueso

Tabla. 7 Composición granulométrica del sedimento por nivel con su respectiva clasificación (Clasif.) para las estaciones de la campaña XIXIMI-1.

Estaciones	Media	Clasif. ¹	Selección	Clasif. ²	Asimetría	Clasif. ³	Kurtosis	Clasif. ⁴	% Arena	% Limo	% Arcilla
E40(0-1)	6.23	LF	1.70	PS	0.10	+	0.98	M	8.3	75.9	15.8
E40(1-2)	6.37	LF	1.71	PS	0.10	+	0.90	M	6.9	74.8	18.3
E40(2-3)	6.39	LF	1.61	PS	0.14	+	0.87	P	4.6	77.7	17.7
E40(3-4)	6.70	LF	1.53	PS	0.16	+	0.83	P	0.0	78.2	21.8
E40(4-6)	6.27	LF	1.72	PS	0.19	+	0.83	P	6.5	75.2	18.4
E40(6-8)	6.08	LF	1.88	PS	0.14	+	0.85	P	12.6	69.6	17.8
E40(8-10)	6.02	LF	2.00	PS	0.05	+/-	0.84	P	17.2	64.6	18.2
E3(0-1)	5.84	LM	2.32	MPS	-0.11	-	0.82	P	24.2	56.7	19.1
E3(1-2)	6.16	LF	2.25	MPS	-0.16	-	0.88	P	19.3	58.0	22.7
E3(2-3)	7.40	LMF	1.38	PS	0.01	+/-	0.90	M	0.0	65.7	34.4
E3(3-5)	7.45	LMF	1.35	PS	0.01	+/-	0.91	M	0.0	64.8	35.2
E3(5-7)	7.48	LMF	1.33	PS	0.01	+/-	0.92	M	0.0	64.5	35.5
E3(7-9)	7.40	LMF	1.42	PS	-0.04	+/-	0.92	M	0.0	64.7	35.3
E36(0-1)	6.31	LF	2.02	MPS	-0.10	+/-	1.00	M	14.5	65.6	19.9
E36(1-2)	6.89	LF	1.48	PS	0.11	+	0.87	P	0.0	76.1	23.9
E36(2-3)	7.00	LMF	1.46	PS	0.09	+/-	0.88	P	0.0	73.9	26.1
E36(3-5)	7.17	LMF	1.43	PS	0.05	+/-	0.88	P	0.0	70.7	29.4
E36(5-7)	7.13	LMF	1.48	PS	0.04	+/-	0.88	P	0.0	70.7	29.3
E36(7-9)	7.16	LMF	1.44	PS	0.05	+/-	0.88	P	0.0	70.6	29.4
E36(9-11)	7.11	LMF	1.50	PS	0.03	+/-	0.87	P	0.0	70.6	29.4
E15(0-1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E15(1-2)	6.70	LF	1.59	PS	0.05	+/-	0.92	M	4.1	74.6	21.2
E15(2-3)	7.32	LMF	1.32	PS	0.10	+/-	0.91	M	0.0	69.8	30.2
E15(3-4)	7.15	LMF	1.37	PS	0.11	+	0.91	M	0.0	72.7	27.3
E15(4-6)	6.92	LF	1.44	PS	0.12	+	0.88	P	0.0	76.2	23.9

Estaciones	Media	Clasif. ¹	Selección	Clasif. ²	Asimetría	Clasif. ³	Kurtosis	Clasif. ⁴	% Arena	% Limo	% Arcilla
E15(6-8)	6.95	LF	1.46	PS	0.11	+	0.88	P	0.0	75.1	24.9
E15(8-10)	7.05	LMF	1.40	PS	0.12	+	0.90	M	0.0	74.2	25.8
E35(0-1)	6.05	LF	1.71	PS	0.06	+/-	1.10	M	11.4	76.2	12.3
E35(1-2)	8.04	AG	1.86	PS	-0.10	+/-	1.15	L	3.4	45.6	51.1
E35(2-3)	6.65	LF	1.39	PS	0.16	+	0.87	P	0.0	81.8	18.2
E35(3-4)	6.51	LF	1.60	PS	0.04	+/-	0.95	M	5.5	76.6	17.9
E35(4-6)	6.87	LF	1.44	PS	0.13	+	0.88	P	0.0	77.4	22.6
E35(6-8)	6.69	LF	1.57	PS	0.06	+/-	0.91	M	3.9	75.2	20.9
E35(8-10)	7.07	LMF	1.43	PS	0.07	+/-	0.87	P	0.0	72.8	27.2
E43(0-1)	7.11	LMF	1.33	PS	0.16	+	0.93	M	0.0	74.5	25.5
E43(1-2)	6.85	LF	1.51	PS	0.07	+/-	0.88	P	0.7	75.7	23.6
E43(2-3)	7.18	LMF	1.43	PS	0.04	+/-	0.88	P	0.0	70.4	29.6
E43(3-4)	6.82	LF	1.71	PS	0.01	+/-	0.95	M	4.8	70.5	24.7
E43(4-6)	6.82	LF	1.71	PS	0.01	+/-	0.95	M	4.8	70.5	24.7
E43(6-8)	6.95	LF	1.60	PS	-0.02	+/-	0.88	P	2.7	70.0	27.4
E43(8-10)	6.61	LF	1.71	PS	0.00	+/-	0.97	M	6.3	73.0	20.7
E27(0-1)	4.74	LG	1.94	PS	0.16	+	1.12	L	36.8	55.8	7.4
E27(1-2)	4.19	LG	2.08	MPS	0.11	+	1.02	M	47.8	46.7	5.5
E27(2-4)	4.87	LG	1.87	PS	0.23	+	1.07	M	35.3	56.8	7.9
E27(4-6)	4.98	LG	1.83	PS	0.28	+	1.11	M	32.1	59.2	8.7
E27(6-8)	5.12	LM	1.75	PS	0.32	++	1.08	M	26.8	64.2	9.0
E27(8-10)	5.10	LM	1.81	PS	0.28	+	1.12	L	27.0	64.0	9.0

¹ AG= Arcilla gruesa; LG=Limo grueso; LM=Limo medio; LF=Limo fino; LMF =Limo muy fino

² PS=Pobrememente seleccionado; MPS= + pobrememente seleccionado

³ Muy positiva= ++; Positiva= +; Aproximadamente simétrica = +/-; Negativa= -

⁴ M= Mesocúrtica; P= Platicúrtica; L= Leptocúrtica

Verticalmente, los sedimentos demostraron un patrón muy homogéneo a lo largo del núcleo de sedimento dentro de una misma estación, es decir, las contribuciones de limo, arcilla y arena fueron muy similares en los diferentes niveles no habiendo un efecto de la profundidad en dichos valores. La composición granulométrica por nivel también reveló una mayor presencia de limo en el sedimento, con respecto a arena y arcilla (Figura 28).

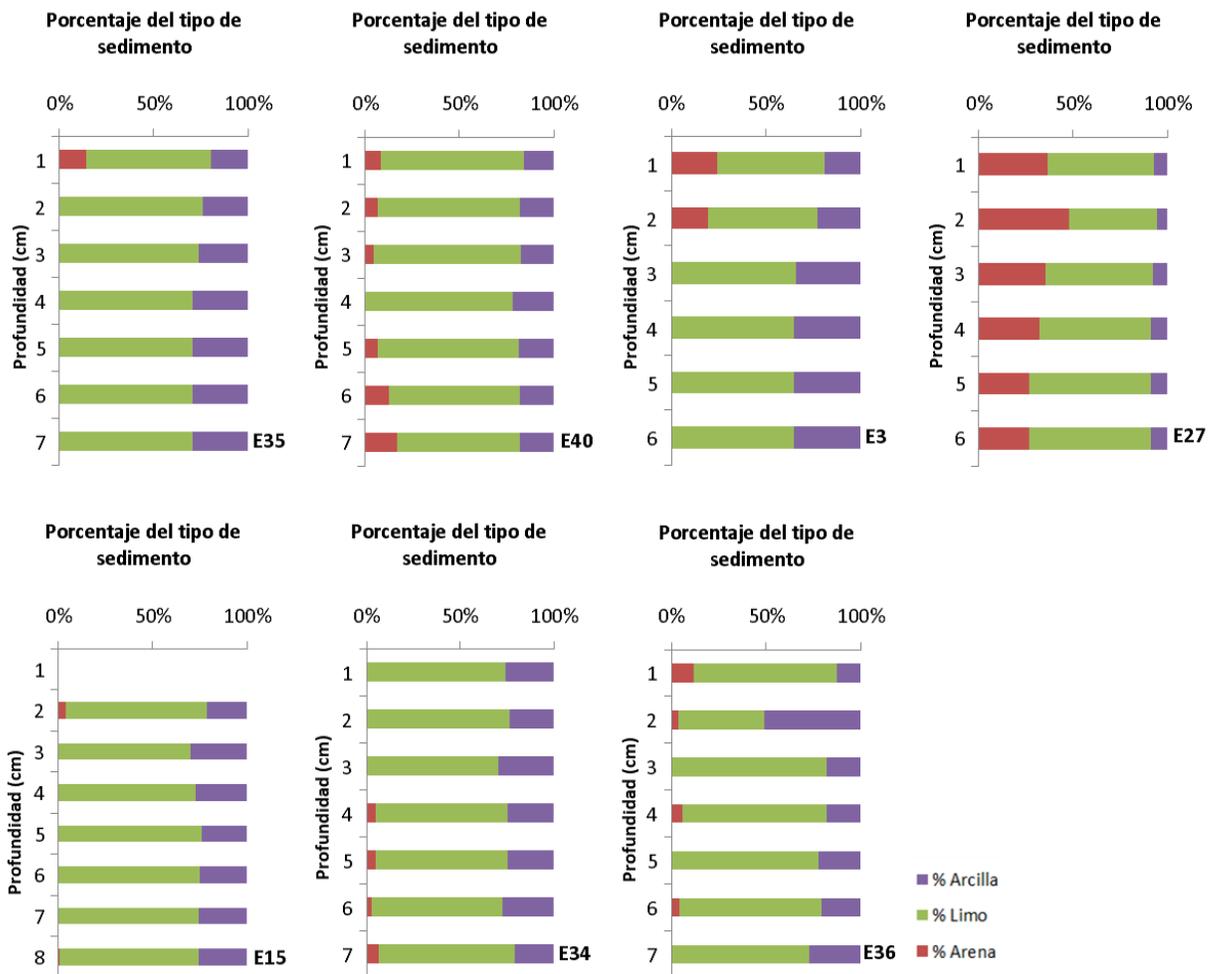


Figura 28. Composición granulométrica vertical (por niveles) de las siete estaciones muestreadas en la campaña XIXIMI-1 a lo largo del Golfo de México.

Para evaluar la similitud entre las estaciones utilizando la composición granulométrica se realizó un MDS aplicado a los datos de granulometría (media, selección, asimetría, kurtosis, % arena, % limo y % arcilla) de todo el núcleo. El MDS claramente destacó la estación E27 como muy distinta de las demás debido a su mayor porcentaje de arena (Figura 29).

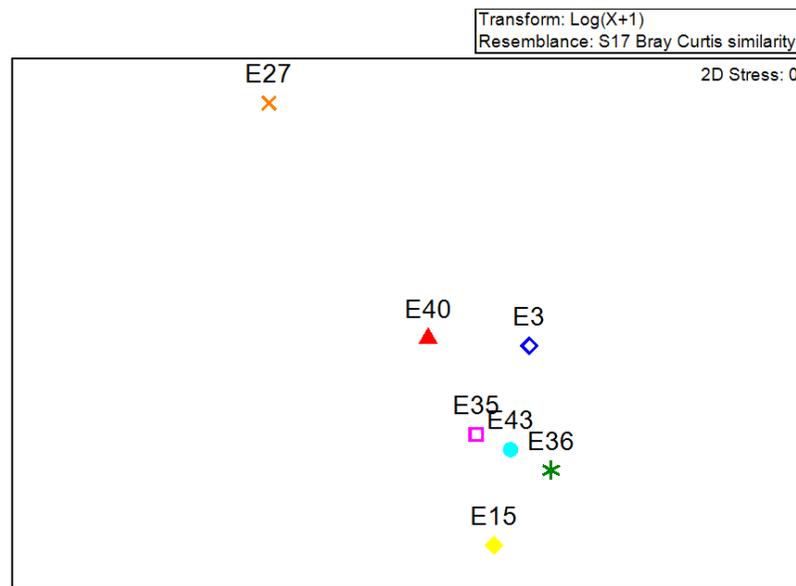


Figura 29. Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) para los datos granulometría de las siete estaciones del Golfo de México.

6.3.2 Carbono orgánico

Los porcentajes de carbono orgánico fueron medidos para las siete estaciones recolectadas en la campaña XIXIMI-1. Los valores de carbono orgánico para cada estación es la suma de los diferentes niveles del sedimento, tomando en cuenta la estación de forma integrada. Dichos valores fueron muy similares entre las estaciones, variando entre 1.7% y 2.9%. Las estaciones E15 y E27 fueron las que presentaron mayores porcentajes de carbono orgánico (2.7 y 2.9%) diferenciándose de las demás (Figura 30).

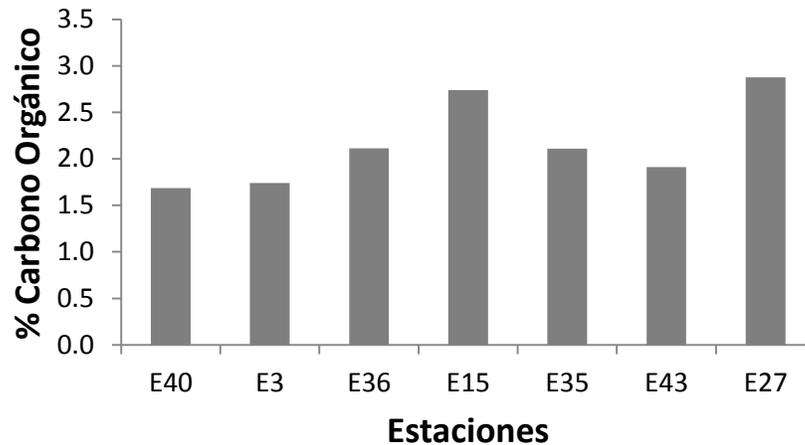


Figura 30. Porcentaje de Carbono Orgánico en el sedimento en cada una de las siete estaciones muestreadas durante la campaña XIXIMI-1.

Por lo general, el patrón de distribución vertical de carbono orgánico fue muy similar en las siete estaciones, es decir, con valores similares a lo largo del núcleo de sedimento (Figura 31). Quizás, una excepción a dicho patrón puede ser observado en la estación E27, la cual parece presentar una reducción en los valores de carbono orgánico con el aumento de la profundidad del sedimento (Figura 31). Por otro lado, en algunas estaciones los mayores valores de carbono orgánico (aunque no muy altos) fueron observados en los niveles más inferiores (e. j. E40, E3 y E36; Figura 31).

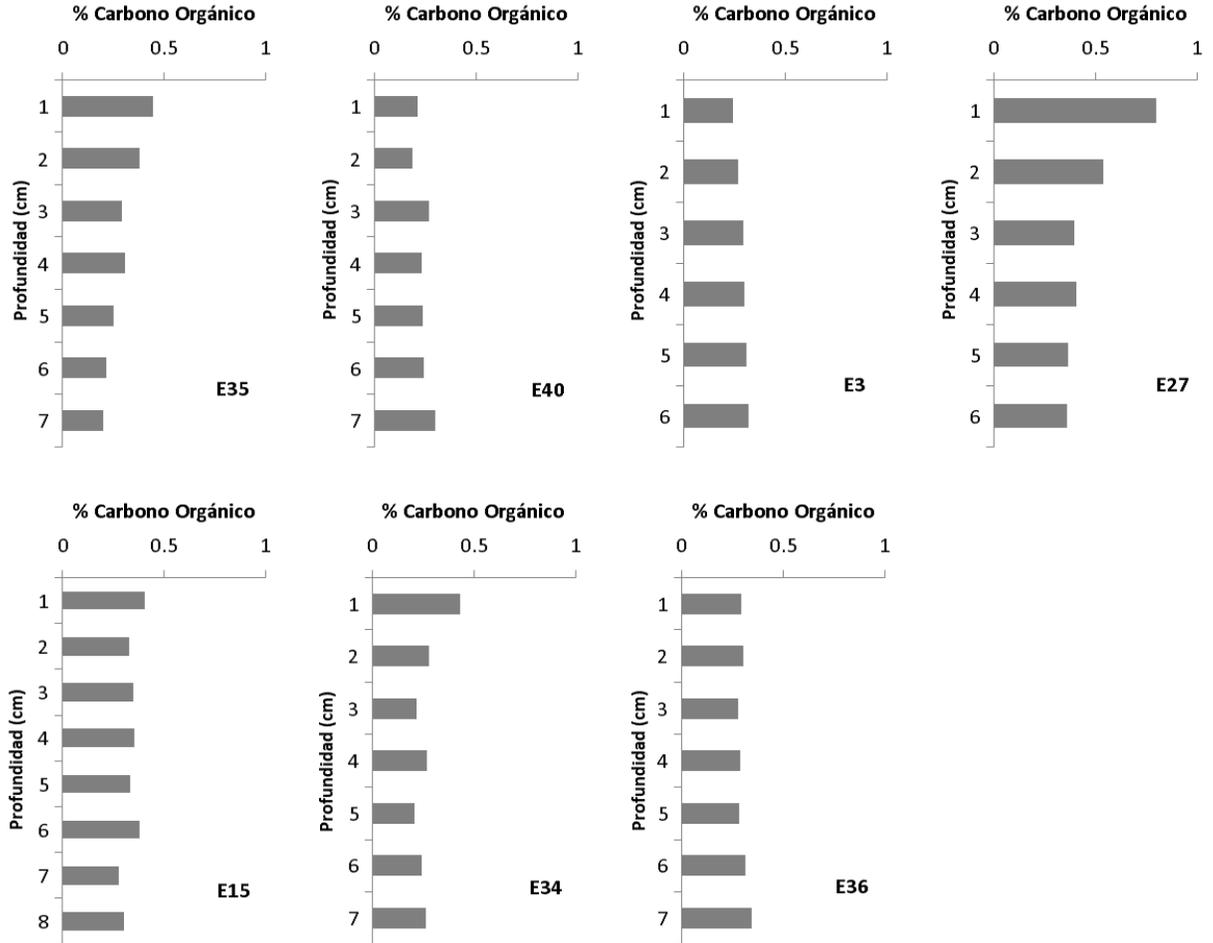


Figura 31. Perfil vertical del porcentaje de Carbono Orgánico en las siete estaciones muestreadas en la campaña XIXIMI-1 a lo largo del Golfo de México.

6.3.3 Ordenamiento de parámetros ambientales

La ordenación de los parámetros abióticos (media, selección, asimetría, kurtosis, % arena, % limo y % arcilla, % carbono orgánico) a través del análisis de componentes principales (PCA) mostró una diferenciación entre las estaciones a lo largo del Golfo de México (Figura 32), donde claramente se destacan las estaciones E3, E40 y E27 por sus

mayores porcentajes de arcilla, limo y arena respectivamente. Por otro lado las demás estaciones permanecieron cercanamente agrupadas.

Los componentes PC1 y PC2 fueron responsables por 100% de la variabilidad total entre las estaciones (PC1-89.3%; PC2-10.7%). En el PC1, los mayores pesos positivos fueron atribuidos al % de arena, mientras que los pesos negativos estuvieron relacionados al % de arcilla y % de limo. Los demás parámetros abióticos (e.j. simetría, kurtosis, % carbono orgánico, selección y media) no contribuyeron para explicar la variabilidad entre las estaciones. En el PC2, el % de arcilla fue el responsable por los pesos positivos, mientras que % limo fue el responsable por los pesos negativos, otra vez los demás parámetros poco contribuyeron a explicar la variabilidad (Figura 32).

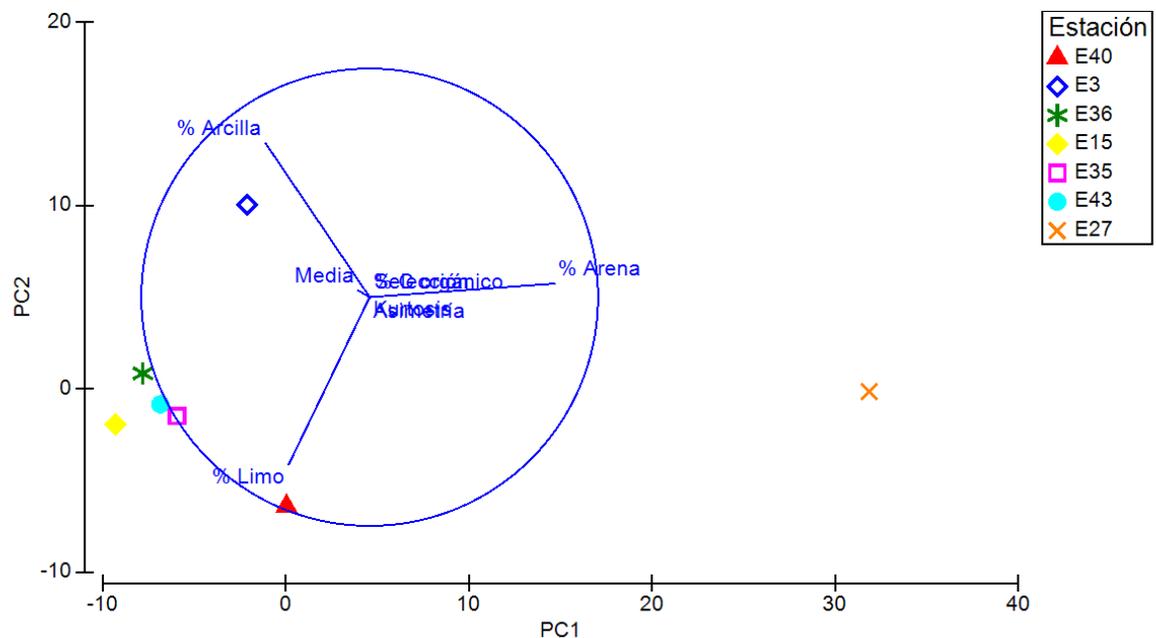


Figura 32. Ordenación por el análisis de componentes principales (PCA) de los parámetros abióticos en las siete estaciones muestreadas en la campaña XIXIMI-1 a lo largo del Golfo de México.

Para verificar cualquier posible relación de la estructura de la meiofauna con los parámetros abióticos fueron realizadas correlaciones, contrastando abundancia y diversidad

con los diferentes parámetros abióticos (tamaño medio del grano, profundidad, % carbono orgánico) (Tabla 8). Entre las diferentes correlaciones probadas obtuvimos solamente tres resultados significativos: 1) número de géneros (S) de nemátodos y profundidad del mar, donde los valores número de géneros disminuyeron con el aumento la profundidad ($r^2=0.6010$, $r= -0.7753$, $p=0.0406$) (Figura 33); 2) riqueza de especie (d) y profundidad también resultaron en una correlación significativa, o sea, cuanto mayor la profundidad en el océano menor es la riqueza de especies ($r^2= 0.6092$, $r= - 0.7805$, $p=0.0384$) (Figura 34); y finalmente 3) abundancia y profundidad del mar resultaron significativas, al agrupar los datos de ambos cruceros. Los valores de abundancia para meiofauna disminuyeron con el aumento la profundidad ($r^2= 0.2657$, $r= - 0.5155$, $p=0.02$) (Figura 35). Por otro lado analizando los cruceros por separado no fue posible observar esta correlación significativa de abundancia con la profundidad del mar (Tabla 8).

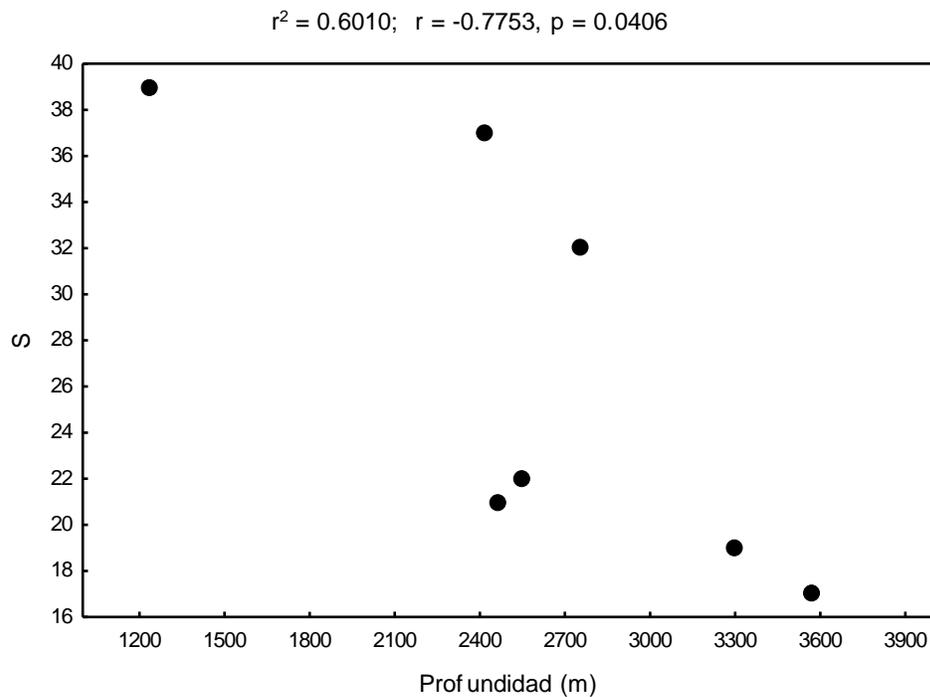


Figura 33. Número de géneros de nemátodos en función de la profundidad en las 7 estaciones muestreadas en XIXIMI-1 a lo largo del Golfo de México.

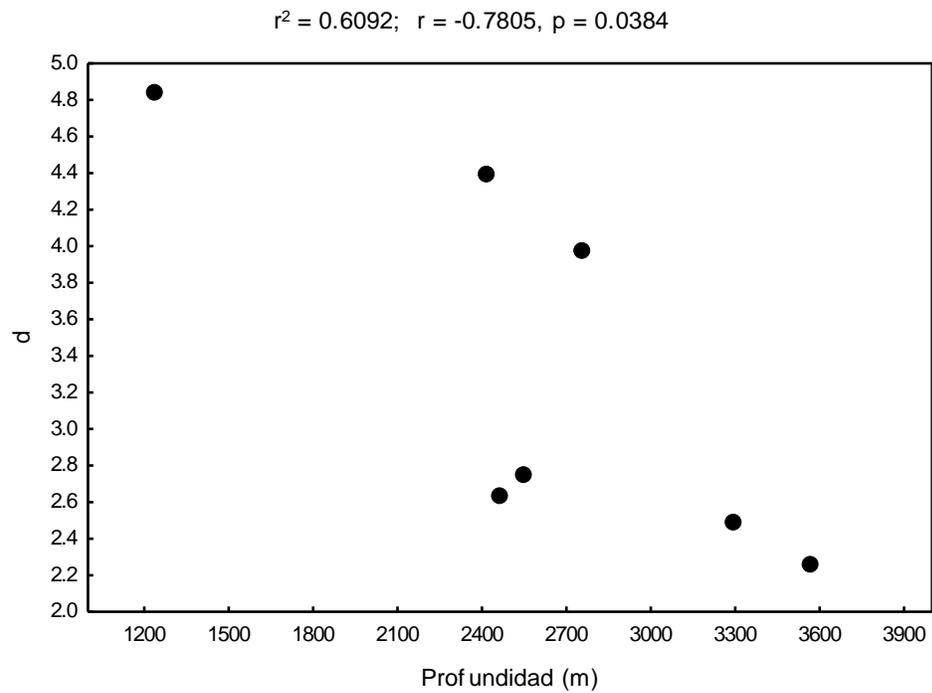


Figura 34. Riqueza de especie de la nematofauna en función de la profundidad en las 7 estaciones muestreadas en XIXIMI-1 a lo largo del Golfo de México.

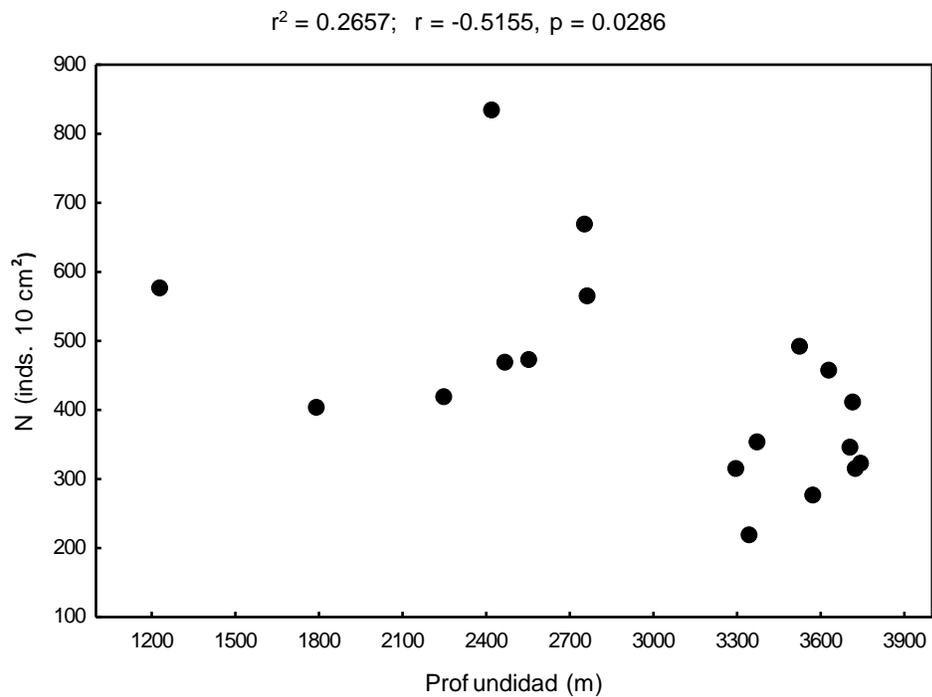


Figura 35. Abundancia de la meiofauna en función de la profundidad en las 11 estaciones muestreadas en XIXIMI-1 y XIXIMI-2 a lo largo del Golfo de México.

Tabla 8. Resultado de correlaciones entre la estructura de la meiofauna y los parámetros abióticos. Valores de significancia (p) y el coeficiente de correlación (r).

		Correlaciones	R	P
Meiofauna XIXIMI-1		N (Inds. 10 cm ⁻²) x Profundidad	-0.589	0.1641
		N (Inds. 10 cm ⁻²) x % Carbono orgánico	0.4353	0.3545
		N (Inds. 10 cm ⁻²) x Tamaño medio del grano	-0.1872	0.6877
		S x Profundidad	-0.4722	0.2847
		S x % Carbono orgánico	0.2041	0.6608
		S x Tamaño medio del grano	0.0295	0.95
Nematofauna XIXIMI-1		S x Profundidad	-0.7753	0.0406
		S x % Carbono orgánico	0.6213	0.1365
		S x Tamaño medio del grano	-0.6478	0.1157
		N x Profundidad	-0.6116	0.1445
		N x % Carbono orgánico	0.3919	0.3846
		N x Tamaño medio del grano	-0.2132	0.6463
		d x Profundidad	-0.7805	0.0384
		d x % Carbono orgánico	0.6377	0.1234
		d x Tamaño medio del grano	-0.695	0.083
		J' x Profundidad	0.0562	0.9048
		J' x % Carbono orgánico	0.1931	0.6783
		J' x Tamaño medio del grano	-0.3241	0.4782
		H'(log2) x Profundidad	-0.659	0.1074
		H'(log2) x % Carbono orgánico	0.5669	0.1845
	H'(log2) x Tamaño medio del grano	-0.6473	0.1161	
Meiofauna XIXIMI-2		N (Inds. 10 cm ⁻²) x Profundidad	-0.293	0.382
		S x Profundidad	0.184	0.5882
Meiofauna XIXIMI-1 y XIXIMI-2		N (Inds. 10 cm ⁻²) x Profundidad	-0.5155	0.0286
		S x Profundidad	-0.1757	0.4855

7. Discusión

7.1 Abundancia

Nematoda fue el grupo numéricamente dominante de la comunidad meiofaunal del océano profundo en el Golfo de México (71 géneros pertenecientes a 30 familias), representando el 91% de la abundancia total. Debido a su dominancia en la comunidad, los patrones de distribución espacial (comparación ente estaciones) y vertical (dentro del sedimento/núcleo de cada estación) de los nemátodos y de la meiofauna tienen las mismas características por lo que son discutidos en conjunto.

7.1.1 Distribución espacial de la meiofauna y nematofauna

La meiofauna del océano profundo del Golfo de México mostró una densidad promedio de 440 inds. 10cm⁻², variando entre 221 y 837 inds. 10cm⁻² a lo largo de las 15 estaciones muestreadas en ambos cruceros (XIXIMI-1 y XIXIMI-2). El grupo Nematoda tuvo el mismo patrón, y fue el grupo más abundante de la meiofauna. Los valores de densidad obtenidos en el presente trabajo son menores que los valores registrados por otros estudios de océano profundo del Atlántico (Coull *et al.* 1977; Vanreusel *et al.* 1992; Netto *et al.* 2005). Sin embargo, nuestros valores son similares a aquellos descritos en zonas oligotróficas como es el caso del Mar Mediterráneo y del Mar Rojo (Thiel *et al.* 1987; Danovaro *et al.* 1995a; Bianchelli *et al.* 2010). De acuerdo a la NOAA Large Marine Ecosystems of the World (<http://www.lme.noaa.gov/>) el Golfo de México se caracteriza por ser una zona oligotrófica, pobre en nutrientes y con una baja productividad primaria. Por lo tanto, los bajos valores de densidad para la meiofauna no son inesperados.

Por lo general, la abundancia de la meiofauna está directamente relacionada con la profundidad del océano, es decir, los valores de abundancia disminuyen con el incremento de la profundidad y con la distancia a la costa (Sanders 1968; Thistle y Sherman 1985; Gage y Tyler 1991; Tietjen 1992; Danovaro *et al.* 1995a; Gooday 2002; Netto *et al.* 2005). De hecho, ese patrón (una relación inversa con menores valores a profundidades mayores) ha sido observado en diferentes áreas del globo (Tietjen 1992; Soltwedel 2000; Aller *et al.*

2002; Gutzmann *et al.* 2004; Netto *et al.* 2005; Baguley *et al.* 2006a; Mokievskii *et al.* 2007). Tal disminución en la abundancia está relacionada con el flujo de materia orgánica hacia el fondo del océano profundo, lo cual depende directamente de la profundidad y de la distancia a la costa (Danovaro *et al.* 1995a; Soltwedel 1997; Gooday 2002; Netto *et al.* 2005). Es posible estimar gran parte de la variabilidad del flujo de alimento hacia el sedimento considerando un factor principal: la profundidad, tomando en cuenta el tiempo en que tarda en llegar el alimento hacia el fondo. Tal hecho resulta en la disminución de la abundancia con la profundidad del mar (Lamshead y Hodda 1994). En este estudio, también se observó un patrón inverso entre la abundancia de la meiofauna/nematoda y la profundidad, es decir, los valores de abundancia total difirieron entre las estaciones a lo largo del Golfo de México y mostraron una correlación significativa con la profundidad (Figura 32, $p < 0.0286$).

Además de la profundidad, otros factores importantes que podrían explicar las variaciones en la abundancia de la meiofauna son: el tipo de sedimento (tamaño del grano, porcentaje de arena, limo, y arcilla), la entrada de nutrientes/productividad, la disponibilidad de oxígeno, las condiciones hidrodinámicas y la bioturbación (Danovaro *et al.* 1995a; Gage 1996; Soetaert *et al.* 1997; Thistle 1998). En contraste a la tendencia general, no se observaron diferencias en la abundancia de la meiofauna en relación a la cantidad de carbono orgánico en las muestras. Eso sugiere que la disponibilidad de alimento puede ser un factor secundario en determinar la abundancia de la meiofauna en el océano profundo del Golfo de México. La disponibilidad de alimento en el océano profundo está directamente relacionada al flujo de materia orgánica de la superficie hacia las mayores profundidades, de manera que la entrada de alimento en el océano profundo proviene de la columna de agua, y debido a las grandes profundidades ésta se encuentra limitada (Thiel *et al.* 1987; Danovaro *et al.* 1995a; Netto *et al.* 2005; Baguley *et al.* 2006a; Sharma *et al.* 2012). La zona de estudio está caracterizada por una baja productividad primaria en la zona eufótica. Las características del sedimento (p.ej. tamaño medio del grano, porcentajes de arcilla, de limo, y arena, etc.) son factores de gran importancia en determinar la abundancia de la meiofauna (Netto *et al.* 2005). Sin embargo, dichos

parámetros variaron muy poco a lo largo de las estaciones en el Golfo de México. De hecho, apenas las estaciones, E3, E27 y E40 se destacaron entre todas las estaciones por presentar, aunque no sean relevantes, mayores porcentajes de arcilla limo y arena, respectivamente, mientras que las demás estaciones no presentaron diferencias entre sí. Por lo tanto, y de una forma general, el sedimento en las diferentes estaciones se caracterizó como fino o muy fino. Como consecuencia, la granulometría parece correlacionarse muy poco con la variación de la abundancia de la meiofauna.

7.1.2 Distribución vertical de la meiofauna y nematofauna

Diferencias en el tamaño del grano y la heterogeneidad del sedimento (diferentes porcentajes de arena, limo y arcilla) han sido previamente relacionados con la abundancia meiofaunal (Gerlach 1977; Coull *et al.* 1982; Netto *et al.* 2005; Baguley *et al.* 2006a), donde existe la tendencia de aumento de la abundancia meiofaunal en sedimentos dominados por limo. Sin embargo la distribución vertical de la meiofauna en el sedimento es afectada, entre otros factores, por la porosidad del sustrato, y mayores valores de densidad de organismos están asociados a ambientes de fondos arenosos o calcáreos en comparación a sedimentos limosos o arcillosos (Netto *et al.* 2005; Baguley *et al.* 2006a).

La meiofauna, así como otros organismos bentónicos de fondo blando, casi siempre limitan su distribución vertical (alrededor del 80%) a los sedimentos superficiales, hecho atribuido principalmente a la disponibilidad de alimento y oxígeno, resultante de diferentes regímenes sedimentarios (Thiel *et al.* 1987; Danovaro *et al.* 1995a; Netto *et al.* 2005). En sedimentos más arenosos los organismos tienen la oportunidad de migrar a profundidades mayores dentro del sedimento ya que los parámetros abióticos no presentan una disminución brusca con la profundidad. Ya en sedimentos más finos los organismos se limitan a la porción superficial del sedimento.

La mayoría de las estaciones a lo largo del Golfo presentaron un sedimento con altos porcentajes de limo y arcilla, mientras que los porcentajes de arena fueron muy bajos o casi nulos. Los niveles más profundos dentro del núcleo, por lo general caracterizados como muy fino pobremente seleccionado, presentan muy baja permeabilidad debido la

compactación del sedimento. Tales características limitan la migración vertical de los organismos así como la ocurrencia de esos en los niveles más profundos.

En ese estudio, el patrón de distribución vertical de la meiofauna siguió aquel presentado en otros estudios (Steyaert *et al.* 1999; Shimanaga *et al.* 2000; Steyaert *et al.* 2001; de Jesús-Navarrete y Herrera-Gómez 2002; Soetaert *et al.* 2002), caracterizándose por mayores abundancias en los primeros niveles del sedimento y disminuyendo con la profundidad dentro del sedimento. De hecho, ese fue el patrón general presentado por todas las estaciones y en los dos cruceros (XIXIMI-1 y XIXIMI-2). La única excepción a dicho patrón fue la estación E3 en el crucero XIXIMI-1, la cual presentó una baja abundancia de organismos meiofaunales en los niveles superficiales del sedimento así como una distribución vertical muy homogénea. Dicho patrón, único en el presente estudio, puede ser un artefacto de muestreo debido a la pérdida de sedimento superficial al momento de la toma del núcleo. Esta sería una explicación plausible para la baja abundancia encontrada en esa estación así como para explicar el perfil vertical atípico encontrado. De hecho, la meiofauna presentó un pico de abundancia (58 inds. 10cm⁻²) sub-superficial en el nivel 4 (3-5 cm dentro del sedimento), algo no observado en otros estudios de distribución vertical de la meiofauna en sedimentos finos (Steyaert *et al.* 1999; Shimanaga *et al.* 2000; Steyaert *et al.* 2001; Soetaert *et al.* 2002).

La disponibilidad de alimento es uno de los factores ambientales que más afectan la abundancia de la meiofauna (Shirayama y Kojima 1994). En el presente estudio, la disponibilidad de alimento fue estimada a través de la cantidad de carbono orgánico en el sedimento. Los resultados encontrados en el presente estudio referentes a la distribución vertical del carbono orgánico en el sedimento difieren de otros estudios realizados en el océano profundo (Pequegnat *et al.* 1990a; Levin *et al.* 1991; Pfannkuche 1993; Aller *et al.* 2002; Rowe *et al.* 2008; Escobar-Briones y Garcia-Villalobos 2009). En la zona del océano profundo del Golfo de México, Pequegnat *et al.* (1990a) y Escobar-Briones y Garcia-Villalobos (2009) registraron un perfil vertical de carbono orgánico en el sedimento en el que la mayor concentración se encuentra en los niveles superficiales (primeros 5 cm), así como Muller (1977) y Muller y Suess (1979), en cuyos estudios realizados en el océano

profundo del Pacífico Central y a lo largo de los océanos respectivamente, también encontraron un decremento en el carbono con el incremento en la profundidad del sedimento. Por otro lado, en el presente estudio no se detectó una reducción del carbono orgánico con la profundidad, por lo menos en los 7 cm superficiales que fueron analizados, resultados que apoyan aquellos encontrados por Rojas y Silva (2005), donde en general el carbono orgánico no presentó un decaimiento exponencial en los primeros 20-30 cm. El perfil relativamente homogéneo de carbono orgánico en el sedimento puede ser resultado de la mezcla a través de procesos físicos y biológicos. Eso se hace posible porque las actividades bacteriana y animal son más intensas en la camada superficial del sedimento (Aller 1982). Esta distribución uniforme también podría estar asociada a elevadas tasas de sedimentación, en este proceso de sedimentación el material orgánico es movido rápidamente para abajo en una zona activa de diagénesis, por lo tanto sufriendo menos degradación. Además, la rápida deposición de sedimento protege el material orgánico del contacto con los principales agentes oxidantes encontrados en el agua, tales como el oxígeno, nitrato y sulfato (Hedges y Keil 1995).

Aunque, los valores de abundancia de la meiofauna están inversamente relacionados con la profundidad del sedimento (mayor la profundidad, menor la abundancia), en el presente estudio dicho patrón no pudo ser atribuido a la disponibilidad de carbono orgánico. Por lo tanto, la distribución vertical de la meiofauna en el océano profundo de México parece no estar directamente limitada por el flujo de carbono orgánico dentro del sedimento.

Desafortunadamente, la información referente a la distribución espacial y vertical de la meiofauna para el Golfo de México es aún limitada, principalmente en lo que se refiere al océano profundo (profundidades mayores a 200 m). Hasta la fecha, la mayor parte de los datos de meiofauna disponibles se refieren a profundidades por arriba de los 500 m (Escobar-Briones *et al.* 1997; Galaway *et al.* 2001; Baguley *et al.* 2006b; Sharma *et al.* 2012), limitándose a estudios realizados en zonas costeras. Estudios realizados a mayores profundidades en el Golfo de México (Pequegnat *et al.* 1990b; Escobar-Briones y Soto 1997; Escobar-Briones *et al.* 2008), nos permiten hacer una comparación. Sin

embargo hay que tomar en cuenta las diferencias metodológicas, como el uso de diferentes tamaños de malla en los tamices utilizados para extraer los organismos meiofaunales del sedimento. En los trabajos citados se utilizaron tamices con luz de malla de 54 y 63 μ m, mientras que en el presente estudio fue utilizada una malla de 42 μ m, por lo que retuvieron organismos menores.

7.2 Diversidad

7.2.1 Meiofauna

7.2.1.1 Distribución espacial

La meiofauna del océano profundo del Golfo de México se diferencia de la meiofauna de zonas más someras, tales como las zonas intermareal y submareal de esa región (Jensen 1986; Keppner 1986; Murrell y Fleeger 1989; Sharma *et al.* 2012). Por ejemplo, en el estudio realizado por (Baguley *et al.* 2006a) en el norte del Golfo de México la meiofauna de la zona más somera (200m) fue más diversa, reportando una comunidad compuesta por hasta 21 grupos meiofaunales, pero asimismo Nematoda es el grupo numéricamente más importante de la meiofauna. Por otro lado, en el océano profundo el número de grupos meiofaunales se reduce. Nematoda es el grupo que tiende a dominar la comunidad meiofaunal, mientras que otros grupos de la meiofauna (e.j. Polychaeta, Kynorincha, Turbellaria, Gastropoda y Bivalva) que son comunes en aguas someras presentan bajos niveles de abundancia en el océano profundo (Soltwedel 2000). Cambios en la composición de la meiofauna no son tan aparentes en el océano profundo. Sin embargo, Vincx *et al.* (1994), Soltwedel (1997) y Netto *et al.* (2005) proponen algunos cambios en la composición taxonómica con la profundidad, es decir existen diferencias en el número de taxones que se encuentran desde el talud continental hacia el océano profundo, donde este número va disminuyendo con la profundidad.

En el presente estudio, la composición de la meiofauna no varió significativamente entre las estaciones a lo largo del océano profundo del Golfo de México. Los mismos grupos meiofaunales fueron registrados en casi todas estaciones, con algunas excepciones,

tales como Gastrotricha en las estaciones E31, E33, E35 y E36, Rotífera en la estación E3 y Tardígrada en la estación E31, que se limitaron a pequeñas cantidades en dichas estaciones. Asimismo, no se encontró una relación significativa entre la diversidad de la meiofauna y la profundidad. La mayor parte de la meiofauna del océano profundo del Golfo de México está representada por el grupo Nematoda, cerca del 90% de los organismos recolectados. Copepoda y Turbellaria conjuntamente constituyen el 5% de los organismos en XIXIMI-1 y el 13% en XIXIMI-2. En XIXIMI-1, en aquellas estaciones donde Copepoda y Turbellaria aumentaron sus valores de abundancia (E3, E35 y E36), el grupo Nematoda mantuvo sus altos valores de abundancia. Por otro lado en XIXIMI-2 estos grupos contribuyen con un mayor porcentaje para la composición de la meiofauna, influyendo en un discreto decremento de la densidad del grupo Nematoda. Principalmente en las estaciones E19 y E24, donde Nematoda contribuyó con un 79 y 74% respectivamente para la composición de la meiofauna.

7.1.1 Nematofauna

7.1.1.1 Distribución Espacial

La diversidad de la comunidad meiofaunal disminuye desde la plataforma continental hacia las planicies abisales (Danovaro *et al.* 1995a; Soetaert *et al.* 1997; Cook *et al.* 2000; Danovaro *et al.* 2000; Soltwedel 2000; Netto *et al.* 2005; Mokievskii *et al.* 2007). Dicho patrón también pudo ser observado dentro de la nematofauna. El tamaño corporal de los nemátodos tiende a disminuir hacia profundidades mayores en ambientes marinos en función de las características del sedimento así como de la disponibilidad de oxígeno y alimento, las cuales influyen en la movilidad de estos organismos (Soetaert *et al.* 2002). De modo que la composición taxonómica parece cambiar gradualmente originando así una comunidad típica del océano profundo, que consiste en géneros característicos de esas regiones (Soetaert *et al.* 2002; Netto *et al.* 2005)

El número de géneros y familias de la nematofauna del océano profundo en el Golfo de México son semejantes a aquellos encontrados en otros estudios de océano profundo. Sin embargo el género más frecuente *Aphelencooides* (13%) nunca ha sido reportado en

estudios de océano profundo. Tal género fue descrito por Timm y Franklin (1969), donde describen dos especies: *A. gynotylurus* n. sp., encontrado cerca la costa, a 250 metros de la bahía de Bengala, en Cox's Bazar, Paquistán Oriental; y *A. marinus* n. sp., principalmente encontrado en hojas de *Thalassia testudinum*, en Bahía Vizcaína, Florida, y más tarde recogidos en la misma localidad (Meyers *et al.* 1963).

Otros géneros considerados frecuentes en las muestras fueron: *Microlaimus* (7%), *Desmoscolex* (6%), y *Halalaimus* (6%), géneros no específicos de océano profundo, sin embargo frecuentemente reportados en tal ambiente. Por otro lado, *Molgolaimus* (4%) y *Amphimonhystrella* (4%) son considerados géneros característicos de océano profundo lo que sostiene la idea de que el océano profundo presenta una comunidad de nemátodos típica (Tietjen 1984, 1989; Vincx *et al.* 1994; Soetaert y Heip 1995; Vanhove *et al.* 1999; Vanreusel *et al.* 2000).

Danovaro *et al.*, (2009) no encontraron diferencias significativas en la estructura de la nematofauna al comparar diferentes profundidades del océano profundo. Sin embargo, si encontraron una menor diversidad de la nematofauna a mayores profundidades debido a las condiciones hidrodinámicas particulares del hábitat. En el estudio llevado a cabo por Baguley *et al.* (2006b), la nematofauna también presentó menor diversidad a profundidades mayores. Esos resultados sugieren que la nematofauna es menos diversa a medida que aumenta la profundidad en el océano. Tal variabilidad en la diversidad de especies puede estar asociada en gran parte con la disponibilidad de alimento así como en las características del sedimento (Netto *et al.* 2005). No obstante, el patrón generalmente encontrado en diversos estudios indica precisamente lo contrario, es decir que hay un incremento de la diversidad con la profundidad (Lamshead *et al.* 2000; Rex *et al.* 2001; Kotwicki *et al.* 2004).

Cambios en la diversidad de la nematofauna también pueden deberse a la heterogeneidad del sedimento, es decir, a cambios en los porcentajes de grava, arena, limo y arcilla (Levin *et al.* 2001). Por lo general, una mayor heterogeneidad en los sedimentos

resulta en una mayor variabilidad de los ambientes intersticiales (los espacios entre los granos) favoreciendo así a una alta diversidad (Etter y Grassle 1992).

En zonas costeras (intermareal hasta 200 metros), la riqueza de especies de la nematofauna tiende a ser más elevada en sedimentos arenosos comparados con sedimentos lodosos (Heip *et al.* 1985). Dichos resultados han sido asociados a una mayor heterogeneidad del sedimento en ambientes arenosos, lo cual resulta en una mayor variedad de microhábitats para la nematofauna (Heip y Decraemer 1974). Sin embargo, Boucher y Lambshead (1995b), sugieren que la nematofauna en los sedimentos arenosos puede no ser más diversa que en los sedimentos lodosos, y que quizás las correlaciones entre diversidad y granulometría pueden haber sido influidas por el efecto de otros factores correlacionados (oxígeno, materia orgánica, microfitobentos, etc.) (Netto *et al.* 2005).

En el presente estudio, a pesar de que la estación E27 resultó ser diferente de las demás, no se detectó una variación espacial significativa en la granulometría en la mayoría de las estaciones. Por lo tanto, no fue posible establecer una clara relación entre la diversidad (e.j. S y H') de la nematofauna y las características del sedimento. El hecho de que existan diferencias en los niveles de diversidad entre las estaciones induce a postular la hipótesis que la nematofauna en el océano profundo del Golfo de México, al menos hasta el nivel genérico, no responde directamente a la heterogeneidad del sedimento, sino más bien a otros factores tanto bióticos como abióticos (e.j. interacciones biológicas, diversidad funcional, disponibilidad alimento y de oxígeno disuelto).

De acuerdo a Netto *et al.* (2005), los nemátodos de océano profundo pueden exhibir una alimentación especializada debido a la baja disponibilidad de materia orgánica disponible. Dicho comportamiento trófico puede explicar las diferencias observadas en la nematofauna (en cuanto al número de especies y diversidad) entre diferentes estaciones, a pesar de que el tipo de sedimento no sea muy distinto. De cierta forma, el efecto de la heterogeneidad del sedimento sobre la nematofauna es reducido. Por lo tanto, no sería la heterogeneidad del sedimento, sino más bien la heterogeneidad de hábitats que puede estar reflejando las diferencias en la diversidad de la nematofauna. La descarga de detritus

orgánico en el sedimento del océano profundo está condicionada por la lenta liberación a través de la sedimentación y turbulencia, y esa descarga favorece una heterogeneidad que perdura por más tiempo y contribuye para la diversificación del nicho (Netto *et al.* 2005).

Los cambios en la estructura de la comunidad de nemátodos desde la plataforma hacia el océano profundo también pueden estar relacionados con la mineralización de la materia orgánica (Soetaert y Heip 1995). En el océano profundo, el flujo de materia orgánica claramente disminuye con la profundidad en el agua. Por otra parte, los resultados del estudio no muestran una diferencia conspicua en los valores de carbono orgánico entre las estaciones a lo largo del Golfo de México, así que no podemos atribuir una relación entre la diversidad y la disponibilidad de carbono orgánico.

Entre las estaciones muestreadas la comunidad de nemátodos se mostró parecida cuanto a valores de diversidad y abundancia, aunque fue posible observar una cierta diferenciación (Figura 25). A pesar de que la diversidad no fue muy distinta entre las estaciones, la distribución de los taxones demostró una diferenciación a lo largo de las estaciones, siendo que algunas presentan géneros particulares que no ocurren en las demás estaciones, resultando en comunidades distintas a lo largo del océano profundo del Golfo de México. De esa manera podemos inferir que la heterogeneidad entre los géneros y familias a lo largo de la profundidad refleja una distribución distinta de géneros de nemátodos en mayores profundidades.

Los resultados de abundancia y diversidad del presente estudio siguen con las tendencias generales observadas en el norte del Golfo de México (Baguley *et al.* 2006a; Baguley *et al.* 2008; Sharma *et al.* 2012). Esos autores, han registrado una disminución de la abundancia y diversidad de la nematofauna con el aumento de la profundidad así como observado en el presente estudio. Los resultados entre el presente estudio y los del norte del Golfo de México pueden ser atribuidos a la topografía del fondo, las interacciones físicas, químicas y biológicas en los procesos oceanográficos.

No obstante, las diferencias en la composición de la nematofauna entre diferentes áreas geográficas pueden estar relacionadas a cambios ambientales de largo plazo, del

orden de décadas. De hecho, el aporte de materia orgánica hacia el océano profundo en algunas zonas del globo (Levin *et al.* 1991; Pfannkuche 1993; Sommer y Pfannkuche 2000; Rowe *et al.* 2008; Escobar-Briones y Garcia-Villalobos 2009) ha sido relacionado a esos procesos de gran escala temporal. Asimismo, estudios acerca de la estructura de la macrofauna y meiofauna en el océano profundo, han relacionado las diferencias entre estaciones con dichos procesos (Billett *et al.* 2001; Lampadariou *et al.* 2009).

7.1.1.2 Distribución Vertical

La profundidad en el sedimento afecta mucho más la distribución de los nemátodos que la profundidad del agua (Soetaert *et al.* 2002). La distribución vertical de los Nematoda involucra una serie de variables biológicas y físico-químicas, incluyendo granulometría, salinidad, oxígeno, disponibilidad de alimento y compuestos químicos presentes en el agua intersticial (Giere 2009).

Un factor frecuentemente citado como impacto en la diversidad de nemátodos es el tamaño medio del grano. A lo largo del margen continental la granulometría de los sedimentos cambia con la profundidad en el agua, sin embargo no con la profundidad en el sedimento. Heip y Decraemer (1974) reportan que la diversidad de especies de nemátodos está positivamente correlacionada con el tamaño medio del grano, y negativamente relacionada con la cantidad de arcilla y lodo en el sedimento, atribuyendo esa diferenciación al mayor número de hábitats disponibles en sedimentos arenosos en comparación a sedimentos lodosos. La compactación del sedimento definitivamente tiene un gran impacto en la capacidad de penetración de la meiofauna a través del sedimento, sin embargo cómo eso podría afectar en la diversidad de nemátodos todavía no se entiende (Soetaert *et al.* 2002).

Sin embargo, los resultados del presente estudio no sugieren que exista una relación entre la diversidad con las características granulométricas, eso porque los resultados indican una homogeneidad granulométrica y una ausencia de variación conspicua en la composición del sedimento a lo largo del núcleo. Por lo que nuestros resultados revelan un sedimento mayormente lodoso hasta los 10 cm de profundidad cuya pequeña variabilidad

no influye en la diferenciación de la nematofauna. Tal diferenciación pudo ser observada a través de los mayores valores de diversidad en la superficie del sedimento, disminuyendo con la profundidad. Los mayores valores de diversidad fueron observados en la estación E15, mientras que los menores se encontraron en la estación E3.

La materia orgánica es conocida por ser fuente de energía fundamental para la cadena alimenticia de la nematofauna. Sin embargo no está claro cómo el alimento disminuye en calidad y cantidad, tanto con la profundidad en el sedimento como en profundidad en el agua (Soetaert *et al.* 1996). Como ya se ha mencionado, el patrón de distribución vertical del carbono orgánico dentro del sedimento presentó resultados diferentes al de los otros estudios realizados en el océano profundo. Los resultados del presente estudio no indicaron una variación vertical del carbono orgánico a lo largo del núcleo de sedimento, sino que los valores fueron más o menos homogéneos a lo largo del núcleo. Los niveles superiores del sedimento demostraron valores más altos de diversidad de nemátodos, mientras que a medida que aumenta la profundidad esa diversidad tiende a disminuir, patrón que coincide con la abundancia de meiofauna y nematofauna. Por lo tanto en el presente estudio la disponibilidad de carbono orgánico parece no influir en la diversidad de los nemátodos verticalmente.

El oxígeno es considerado un factor primordial para la sobrevivencia de los nemátodos (Giere 2009). La disponibilidad de oxígeno en el sedimento puede ser uno de los factores que expliquen la distribución vertical de Nematoda. Sin embargo en este estudio no se determinaron concentraciones de oxígeno en el sedimento. Epping *et al.*, (2002) demuestran la distribución vertical de los nemátodos en la plataforma continental, donde más del 50% de los nemátodos están presentes en la zona anóxica del sedimento. Sin embargo en las planicies abisales casi todos los nemátodos residen en la parte óxica (Soetaert *et al.* 2002). En el océano profundo el oxígeno penetra menos de 1cm en el sedimento, mientras que en profundidades superiores a 2000 metros el oxígeno penetra más fácilmente, cerca de 4 a 5 cm de profundidad en el sedimento (Epping *et al.* 2002). (Soetaert *et al.* 2002) en su estudio mencionan que en el océano profundo, entre los 3097 y 4280 m, la profundidad de penetración del oxígeno en el sedimento es reducida y se

encuentra entre los 3 y 1cm de profundidad, respectivamente. La distribución diferencial de los nemátodos en los niveles superiores del sedimento puede ser más entendible cuando consideramos las condiciones redox del mismo. Los sedimentos son óxicos hasta cerca de los 5 cm en estaciones de océano profundo (Epping *et al.* 2002). A medida que la concentración de oxígeno disminuye gradualmente con la profundidad en el sedimento, los nemátodos tienden a volverse más pequeños y con un cuerpo más elongado (Soetaert *et al.* 2002). Estos cambios morfológicos son considerados como una adaptación, con el objetivo de maximizar la eficiencia de absorción de oxígeno (Jensen 1987). Lo mismo pudo ser observado en el presente estudio, ya que a mayor profundidad en el sedimento los nemátodos presentes fueron cada vez menores, y mayor eran juveniles. Así pues, se sugiere la incorporación de mediciones de oxígeno en el sedimento para un mayor entendimiento de la estructuración vertical de la meiofauna.

7.3 Variación temporal

Los grupos que compusieron la meiofauna en los dos cruceros realizados en el océano profundo del Golfo de México (XIXIMI-1 y XIXIMI-2) fueron los mismos. Sin embargo, en el XIXIMI-2, además de los grupos ya encontrados en el primer crucero, se registraron otros dos grupos de la meiofauna, Rotifera y Tardigrada, hecho que puede ser atribuido al mayor número de estaciones muestreadas en el segundo crucero, ya que con una mayor área muestreada es mayor la probabilidad de encontrar nuevos representantes de la meiofauna. Los grupos meiofaunales encontrados a lo largo de las estaciones representan la meiofauna típica del océano profundo, tales grupos son reportados en estudios anteriores como representantes de la meiofauna de grandes profundidades (Netto *et al.* 2005; Baguley *et al.* 2006a; Mokievskii *et al.* 2007). Otros estudios han reportado una meiofauna más diversificada, con un mayor número de representantes; por ejemplo, Baguley *et al.*, (2006a) en su estudios encontraron una comunidad compuesta por 21 grupos meiofaunales, donde el más abundante fue el grupo Nematoda. Sin embargo este mayor número de representantes puede estar asociado al área de estudio, la cual, a través de 7 transectos, cubre una área desde los 200 hasta los 3750 m de profundidad.

Por lo general, las densidades totales de la meiofauna fueron un poco mayores en el primer crucero (XIXIMI-1: promedio de 502 inds. 10 cm^{-2} , XIXIMI-2: promedio de 401 inds. 10 cm^{-2}), aunque esta diferencia no fue significativa (ANOVA, $p=0.173$). Aunque Nematoda fue el grupo dominante en ambos cruceros, los grupos Copepoda y Turbellaria tuvieron una mayor importancia en la composición de la meiofauna en el XIXIMI-2, con un incremento 5 y 3% respectivamente en relación al XIXIMI-1.

Los cruceros oceanográficos para el muestreo de la meiofauna fueron realizados en diferentes épocas del año, con un intervalo de 8 meses entre XIXIMI-1 (nov-2010) y XIXIMI-2 (jul-2011). Las diferencias en la estructura de la meiofauna (abundancia y número de grupos) entre los cruceros no son tan perceptibles, y no son significativamente distintas (ANOVA, $p=0.173$ y $p=0.284$, respectivamente para cada crucero). El hecho de que la meiofauna parece no variar a lo largo del tiempo puede estar relacionado a la estabilidad del océano profundo. Lo que podemos observar es una constancia de los grupos meiofaunales y sus respectivas abundancias a lo largo del tiempo en las diferentes estaciones.

La comparación de la estructura de la comunidad entre los dos cruceros fue realizada solamente a nivel de grandes grupos meiofaunales, dado que solamente fueron identificados los nemátodos del XIXIMI-1. En este momento no es posible realizar una comparación de la comunidad nematofáunica entre los dos cruceros, la cual podría reflejar diferencias más importantes en la variación temporal de la comunidad, por lo que es necesario identificar taxonómicamente la comunidad de nemátodos del crucero XIXIMI-2.

Por otro lado, cuando observamos la similitud de las diferentes estaciones en el espacio bidimensional (análisis de MDS), podemos observar una clara diferenciación entre XIXIMI-1 y XIXIMI-2 (Figura 18). De hecho, estaciones que fueron colectadas en ambas campañas no se agruparon, como fue el caso de las estaciones E3, E36 y E40. El hecho de que las estaciones están separadas por crucero y no siguen un patrón geográfico puede ser atribuido a la mayor abundancia encontrada en uno de ellos, y a la total ausencia de dos grupos en el primero, hechos que pudieron haber sido influenciados por el uso de diferentes

métodos de muestreo. En el XIXIMI-1, el muestreo fue realizado con un nucleador tipo caja y las muestras de sedimento fueron recolectadas con un nucleador de 8.1 cm diámetro por 12 cm de altura en cubierta. En cambio, en el XIXIMI-2 se utilizó un multinucleador, por lo que hubo menos disturbios. Con un muestreador tipo caja (crucero XIXIMI-1), las muestras pueden sufrir un lavado, ocasionando así la pérdida de sedimento principalmente de los niveles superficiales. Sin embargo esto no es consistente con las abundancias totales de la meiofauna, que fueron mayores en el primero crucero. Asimismo, el lavado de muestras podría haber tenido un impacto en los grupos menos representativos (e.j. Rotifera y Tardigrada). Con el multinucleador (crucero XIXIMI-2), las muestras no sufren ningún tipo de alteración permaneciendo intactas. De hecho, eso podría explicar el incremento en las abundancias de Copepoda y Turbellaria en el segundo crucero.

Conclusiones

El presente estudio permitió la caracterización de la meiofauna del océano profundo del Golfo de México. Los resultados mostraron la presencia de una meiofauna abundante y diversificada en todas las estaciones muestreadas cuya composición fue típica del océano profundo. Además, el estudio contribuyó para el conocimiento de los nemátodos marinos, el grupo más representativo de la meiofauna. Por ejemplo, el registro del género *Aphelenchoides* en esta zona es novedoso, ya que este organismo es atípico en ambientes marinos. En el presente estudio dicho género, el cual no había sido anteriormente registrado en estudios de océano profundo, fue el más abundante dentro de los nemátodos, .

Los patrones de distribución espacial de la meiofauna y nematofauna no tuvieron una clara relación con la profundidad de la columna de agua o geografía, salvo algunas de las estaciones cercanas que resultaron semejantes (E35, E36 y E43), las cuales están localizadas en la Campeche Sigsbee Salt Basin. En el presente estudio, los parámetros abióticos analizados fueron de cierta forma muy homogéneos entre las diferentes estaciones, excepto en la estación E27. De esa forma, la cercanía geográfica entre las estaciones mencionadas anteriormente implica una mayor similitud en sus parámetros abióticos y consecuentemente en la estructura de la fauna en comparación con el resto de las estaciones. Por otro lado, un análisis de las muestras obtenidas en los dos cruceros indica que esa posible relación de distribución espacial y geografía no se mantiene, ya que las estaciones muestreadas en los dos cruceros (E3, E36 y E40) no se agruparon en el MDS. El diferente método de muestreo empleado (nucleador tipo caja vs. multinucleador) así como la variación estacional son factores que necesitan un mejor entendimiento para explicar tal resultado. Una alternativa sería llevar a cabo un mejor análisis de la composición meiofaunal del crucero XIXIMI-2, o sea, la identificación de la nematofauna a nivel de género. De esa forma sería posible hacer una comparación más completa con respecto a la nematofauna del crucero XIXIMI-1.

Incorporando el componente vertical en el análisis de los datos de la meiofauna y nematofauna se pudo evaluar tridimensionalmente la distribución espacial de las estaciones. Dos posibles escenarios fueron propuestos: 1) Una agrupación a través de estaciones horizontalmente, es decir, cada estación mantendría su identidad, presentando características particulares locales de modo que la abundancia de la meiofauna seguiría la tendencia de agruparse por estación; y 2) una agrupación vertical por niveles, o sea, las estaciones perderían su identidad, de modo que los mismos niveles de las diferentes estaciones comparten características semejantes, de manera que la comunidad meiofáunica sigue una misma tendencia a través de los niveles de las diferentes estaciones. Los resultados favorecieron el segundo escenario en los dos cruceros mostrando que los mismos niveles de las diferentes estaciones comparten características muy similares. Por lo tanto, la abundancia y diversidad de la meiofauna y de los nemátodos de esos estratos verticales resultó más similar. Sin embargo el tipo de muestreo (sin réplicas) nos deja abierta la pregunta: ¿El mayor número de muestras (réplicas) aumentaría la resolución de los resultados? ¿Tendríamos diferencias entre estaciones o niveles? ¿O solamente entre niveles, como lo que fue encontrado?

Es bien sabido que la disponibilidad de alimento, así como la composición del sedimento son factores importantes en determinar la estructura de la meiofauna. Las características del sedimento (% arena, % arcilla y % limo) pueden tener un gran efecto en los patrones verticales de abundancia y diversidad de la meiofauna. Asimismo, la disponibilidad y la calidad de alimento también pueden influir en tales patrones. Sin embargo, los resultados de ese estudio indican que tales factores no influyeron en la abundancia y diversidad de la meiofauna y nematofauna del Golfo de México. Por lo tanto, es probable que estos parámetros tengan una menor importancia en determinar los patrones de distribución vertical para la meiofauna y para los nemátodos en ese tipo de ambiente.

No obstante, se sabe que la disponibilidad de oxígeno también puede ser un factor importante en determinar los patrones verticales de abundancia y diversidad de la meiofauna. Aunque el presente estudio no cuenta con datos de oxígeno en el sedimento, es muy probable que ese sea uno de los factores responsables por los patrones verticales

presentados por la meiofauna y nematofauna del Golfo de México. Otras interacciones biológicas entre especies de nemátodos, tales como depredación y competencia (inter y/o intra específica) pueden ser los mecanismos responsables por los patrones de distribución vertical, tanto de abundancia como diversidad. Un análisis completo de la diversidad funcional de la comunidad podría ser el camino para un mejor entendimiento en el papel de dichos mecanismos.

Finalmente, el presente estudio contribuyó con la generación de datos nuevos acerca de la meiofauna y nematofauna para un ambiente tan poco conocido como es el océano profundo, en particular en el Golfo de México. Asimismo, ese estudio aportó nuevas evidencias con respecto a los procesos y factores que pueden determinar la vida en el ambiente bentónico bajo los 1233 metros de profundidad. Se requieren estudios adicionales para ampliar el conocimiento actual sobre los procesos reguladores de la meiofauna y nematofauna del océano profundo del Golfo de México. No obstante, los datos de distribución espacial y vertical de la meiofauna y nematofauna producidos por ese trabajo servirán de base para futuras comparaciones en la región, ya sean en estudios ecológicos y/o taxonómicos. Esa información puede resultar muy valiosa en virtud de que el Golfo de México se encuentra bajo constante exploración petrolera y puede ser afectado por desastres ecológicos.

Referencias Bibliográficas

- Aller, J. Y. and R. C. Aller. 1992. Meiofauna and Solute Transport in Marine Muds. *Limnology and Oceanography* **37**:1018-1033.
- Aller, J. Y., R. C. Aller, and M. A. Green. 2002. Benthic faunal assemblages and carbon supply along the continental shelf/shelf break-slope off Cape Hatteras, North Carolina. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **49**:4599-4625.
- Aller, R. C. 1982. The effects of macrobenthos on chemical properties of marine sediment and overlying water. *in* P. L. McCall and M. J. S. Tevesz, editors. *Animal-sediments relations*. Plenum Press, New York.
- Alongi, D. M. and M. Pichon. 1988. Bathyal meiobenthos of the western Coral Sea: distribution and abundance in relation to microbial standing stocks and environmental factors. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers* **35**:491-503.
- Baguley, J. G., P. A. Montagna, L. J. Hyde, R. D. Kalke, and G. T. Rowe. 2006a. Metazoan meiofauna abundance in relation to environmental variables in the northern Gulf of Mexico deep sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **53**:1344-1362.
- Baguley, J. G., P. A. Montagna, L. J. Hyde, and G. T. Rowe. 2008. Metazoan meiofauna biomass, grazing, and weight-dependent respiration in the Northern Gulf of Mexico deep sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **55**:2607-2616.
- Baguley, J. G., P. A. Montagna, W. Lee, L. J. Hyde, and G. T. Rowe. 2006b. Spatial and bathymetric trends in Harpacticoida (Copepoda) community structure in the Northern Gulf of Mexico deep-sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **330**:327-341.
- Bianchelli, S., C. Gambi, D. Zeppilli, and R. Danovaro. 2010. Metazoan meiofauna in deep-sea canyons and adjacent open slopes: A large-scale comparison with focus on the rare taxa. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **57**:420-433.
- Billett, D. S. M., B. J. Bett, A. L. Rice, M. H. Thurston, J. Galéron, M. Sibuet, and G. A. Wolff. 2001. Long-term change in the megabenthos of the Porcupine Abyssal Plain (NE Atlantic). *Progress in Oceanography* **50**:325-348.
- Boucher, G. and N. Gourbault. 1990. Sublittoral Meiofauna and Diversity of Nematode Assemblages off Guadeloupe Islands (French West Indies). *Bulletin of Marine Science* **47**:448-463.
- Boucher, G. and P. J. D. Lambshead. 1995a. Ecological Biodiversity of Marine Nematodes in Samples from Temperate, Tropical, and Deep-Sea Regions. *Conservation Biology* **9**:1594-1604.
- Boucher, G. and P. J. D. Lambshead. 1995b. Ecological Biodiversity of Marine Nematodes in Samples from Temperate, Tropical, and Deep-Sea Regions

- Biodiversidad ecológica de los nematodos marinos en muestras de regiones templadas, tropicales y de aguas profundas. *Conservation Biology* **9**:1594-1604.
- Cartes, J. E. 1993. Deep-Sea Decapod Fauna of the Western Mediterranean: Bathymetric Distribution and Biogeographic Aspects. *Crustaceana* **65**:29-40.
- Cartes, J. E. and M. Carrassón. 2004. Influence of trophic variables on the depth-range distributions and zonation rates of deep-sea megafauna: the case of the Western Mediterranean assemblages. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **51**:263-279.
- Castillo-Fernandez, D. and P. J. D. Lamshead. 1990. Revision of the genus *Elzalia* Gerlach, 1957 (Nematoda: Xyalidae) including three new species from an oil producing zone in the Gulf of Mexico, with a discussion of the sibling species problem. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology Series* **56**:63-71.
- Chitwood, B. G. 1951. North American marine nematodes. *Texas Journal of Science* **4**:617-672.
- Chitwood, B. G. and R. W. Timm. 1954. Free-living nematodes of the Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* **55**:313-323.
- Clarke, K. R. and R. N. Gorley. 2001. *PRIMER v5: User manual/tutorial*, PRIMER-E, Plymouth.
- Clarke, K. R. and R. M. Warwick. 1994. Similarity-based testing for community pattern: the two-way layout with no replication. *Marine Biology* **118**:167-176.
- Cobb, N. A. 1920. "One hundred new nematodes". Pages 217-343 *Contributions to Science of Nematology*.
- Cook, A. A., P. John D. Lamshead, L. E. Hawkins, N. Mitchell, and L. A. Levin. 2000. Nematode abundance at the oxygen minimum zone in the Arabian Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **47**:75-85.
- Coull, B. C., R. L. Ellison, J. W. Fleeger, R. P. Higgins, W. D. Hope, W. D. Hummon, R. M. Rieger, W. E. Sterrer, H. Thiel, and J. H. Tietjen. 1977. Quantitative estimates of the meiofauna from the deep sea off North Carolina, USA. *Marine Biology* **39**:233-240.
- Coull, B. C., Z. Zo, J. H. Tietjen, and B. S. Williams. 1982. Meiofauna of the Southeastern United States Continental Shelf. *Bulletin of Marine Science* **32**:139-150.
- Danovaro, R., S. Bianchelli, C. Gambi, M. Mea, and D. Zeppilli. 2009. α -, β -, γ -, δ - and ϵ -diversity of deep-sea nematodes in canyons and open slopes of Northeast Atlantic and Mediterranean margins. *Marine Ecology Progress Series* **396**:197-209.
- Danovaro, R., N. D. Croce, A. Eleftheriou, M. Fabiano, N. Papadopoulou, C. Smith, and A. Tselepidis. 1995a. Meiofauna of the deep Eastern Mediterranean Sea: distribution and abundance in relation to bacterial biomass, organic matter composition and other environmental factors. *Progress in Oceanography* **36**:329-341.

- Danovaro, R., M. Fabiano, G. Albertelli, and N. D. Croce. 1995b. Vertical Distribution of Meiobenthos in Bathyal Sediments of the Eastern Mediterranean Sea: Relationship with Labile Organic Matter and Bacterial Biomasses. *Marine Ecology* **16**:103-116.
- Danovaro, R., C. Gambi, N. Lampadariou, and A. Tselepides. 2008. Deep-sea nematode biodiversity in the Mediterranean basin: testing for longitudinal, bathymetric and energetic gradients. *Ecography* **31**:231-244.
- Danovaro, R., A. Tselepides, A. Otegui, and N. Della Croce. 2000. Dynamics of meiofaunal assemblages on the continental shelf and deep-sea sediments of the Cretan Sea (NE Mediterranean): relationships with seasonal changes in food supply. *Progress in Oceanography* **46**:367-400.
- de Jesús-Navarrete, A. 2007. Nemátodos de los arrecifes de Isla Mujeres y Banco Chinchorro, Quintana Roo, México. *Revista de biología marina y oceanografía* **42**:193-200.
- de Jesús-Navarrete, A. and J. Herrera-Gómez. 2002. Vertical distribution and feeding types of nematodes from Chetumal Bay, Quintana Roo, Mexico. *Estuaries and Coasts* **25**:1131-1137.
- Derycke, S., G. Fonseca, A. Vierstraete, J. Vanfleteren, M. Vincx, and T. Moens. 2008. Disentangling taxonomy within the *Rhabditis (Pellioiditis) marina* (Nematoda, Rhabditidae) species complex using molecular and morphological tools. *Zoological Journal of the Linnean Society* **152**:1-15.
- Epping, E., C. van der Zee, K. Soetaert, and W. Helder. 2002. On the oxidation and burial of organic carbon in sediments of the Iberian margin and Nazaré Canyon (NE Atlantic). *Progress in Oceanography* **52**:399-431.
- Escobar-Briones, E. 2000. The deep Gulf of Mexico revisited. *Deep Sea Newsletter* **29**:19-22.
- Escobar-Briones, E. 2002. Deep Sea Benthos in the Southwestern Gulf of Mexico: Lessons learned on Ecosystem Organization 1950-2050, Sustainable Coastal Margins Program. Texas A & M University Conference Proceedings.:58-60.
- Escobar-Briones, E. and F. J. Garcia-Villalobos. 2009. Distribution of total organic carbon and total nitrogen in sediments from the deep sea Southwestern Gulf of Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* **61**:73-86.
- Escobar-Briones, E., M. Lopez, L. A. Soto, and M. Signoret. 1997. Density and biomass of the meiofauna of the upper continental slope in two regions of the Gulf of Mexico. *Ciencias Marinas* **23**:463-489.
- Escobar-Briones, E. and L. A. Soto. 1993. Bentos del mar profundo en México. Page 865 *in* S. I. Salazar-Vallejo and N. E. González, editors. *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CIQRO, Chetumal y CONABIO, México.

- Escobar-Briones, E. G., C. Díaz, and P. Legendre. 2008. Meiofaunal community structure of the deep-sea Gulf of Mexico: Variability due to the sorting methods. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **55**:2627-2633.
- Escobar-Briones, E. G. and L. A. Soto. 1997. Continental shelf benthic biomass in the western Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research* **17**:585-604.
- Etter, R. J. and J. F. Grassle. 1992. Patterns of species diversity in the deep sea as a function of sediment particle size diversity. *Nature* **360**:576-578.
- Fabiano, M. and R. Danovaro. 1999. Meiofauna distribution and mesoscale variability in two sites of the Ross Sea (Antarctica) with contrasting food supply. *Polar Biology* **22**:115-123.
- Flach, E., A. Muthumbi, and C. Heip. 2002. Meiofauna and macrofauna community structure in relation to sediment composition at the Iberian margin compared to the Goban Spur (NE Atlantic). *Progress in Oceanography* **52**:433-457.
- Gage, J. D. 1996. Why are there so many species in deep-sea sediments? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **200**:257-286.
- Gage, J. D. and P. A. Tyler. 1991. *Deep-Sea Biology: A Natural History of Organisms at the Deep-Sea Floor*. Cambridge University Press.
- Galaway, B. J., J. G. Cole, and L. R. Martin. 2001. The deep sea Gulf of México: an overview and guide. U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA. OCS Study MMS 2001-065.
- Gambi, C. and R. Danovaro. 2006. A multiple-scale analysis of metazoan meiofaunal distribution in the deep Mediterranean Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **53**:1117-1134.
- Gerlach, S. A. 1971. On the importance of marine meiofauna for benthos communities. *Oecologia* **6**:176-190.
- Gerlach, S. A. 1977. Attraction to decaying organisms as a possible cause for patchy distribution of nematodes in a Bermuda beach. *Ophelia* **16**:151-165.
- Gibson, R. N., M. Barnes, and R. J. A. Atkinson. 2002. *Oceanography and Marine Biology, an Annual Review, Volume 40: An Annual Review*. Taylor & Francis Group.
- Giere, O. 2009. *Meiobenthology: The Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments*. Springer-Verlag.
- Gooday, A. 2002. Biological Responses to Seasonally Varying Fluxes of Organic Matter to the Ocean Floor: A Review. *Journal of Oceanography* **58**:305-332.
- Grassle, J. F. 1989. Species diversity in deep-sea communities. *Trends in Ecology & Evolution* **4**:12-15.

- Gutzmann, E., P. Martínez Arbizu, A. Rose, and G. Veit-Köhler. 2004. Meiofauna communities along an abyssal depth gradient in the Drake Passage. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **51**:1617-1628.
- Hecker, B. 1990. Variation in megafaunal assemblages on the continental margin south of New England. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers* **37**:37-57.
- Hedges, J. I. and R. G. Keil. 1995. Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis. *Marine Chemistry* **49**:81-115.
- Heip, C. and W. Decraemer. 1974. The Diversity of Nematode Communities in the Southern North Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **54**:251-255.
- Heip, C., M. Vincx, and G. Vranken. 1985. *The Ecology of marine nematodes*. Aberdeen University Press, Aberdeen.
- Herzka, S. Z., J. C. Herguera, A. Licea, J. Sheinbaum, and V. Ferreira. 2012. Establecimiento de línea de base en aguas profundas del Golfo de México en respuesta al derrame petrolero asociado a la plataforma Deepwater Horizon., CICESE, Ensenada, Baja California-México.
- Higgins, R. P. and H. Thiel. 1988. *Introduction to the study of meiofauna*. Smithsonian Institution Press: Washington D.C.
- Hope, W. D. 2005. An annotated checklist of the marine nematodes of the Western North Atlantic and Gulf of Mexico. *Society of Nematologists, Marcelline*.
- Hopper, B. E. 1961. Marine Nematodes from the coast line of the Gulf of Mexico. *Canadian Journal of Zoology* **39**:183-199.
- Howell, K. L., D. S. M. Billett, and P. A. Tyler. 2002. Depth-related distribution and abundance of seastars (Echinodermata: Asteroidea) in the Porcupine Seabight and Porcupine Abyssal Plain, N.E. Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **49**:1901-1920.
- Jacob, W., S. McClatchie, P. K. Probert, and R. J. Hurst. 1998. Demersal fish assemblages off southern New Zealand in relation to depth and temperature. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **45**:2119-2155.
- Jensen, P. 1986. Nematode fauna in the sulphide-rich brine seep and adjacent bottoms of the East Flower Garden, NW Gulf of México. *Marine Biology* **92**:489-503.
- Jensen, P. 1987. Feeding ecology of free-living aquatic nematodes. *Marine Ecology Progress Series* **35**:187-196.
- Jesús-Navarrete, A. and J. Herrera-Gómez. 2002. Vertical distribution and feeding types of nematodes from Chetumal Bay, Quintana Roo, México. *Estuaries* **25**:1131-1137.
- Jonge, V. N. and L. A. Bouwman. 1977. A simple density separation technique for quantitative isolation of meiobenthos using the colloidal silica Ludox-TM. *Marine Biology* **42**:143-148.

- Karline, S., M. Agnes, and H. Carlo. 2002. Size and shape of ocean margin nematodes: morphological diversity and depth-related patterns. *Marine Ecology Progress Series* **242**:179-193.
- Keppner, E. J. 1986. New Species of Free-Living Marine Nematodes (Nematoda: Enoplida) from Bay County, Florida, U.S.A. *Transactions of the American Microscopical Society* **105**(4):319-337.
- King, C. E. 1962. Some Aspects of the Ecology of Psammolittoral Nematodes in the Northeastern Gulf of Mexico. *Ecology* **43**:515-523.
- Kotwicki, L., M. Szymelfenig, M. Troch, and M. Zajaczkowski. 2004. Distribution of meiofauna in Kongsfjorden, Spitsbergen. *Polar Biology* **27**:661-669.
- Lamshead, P. J. D. 1993. Recent developments in marine benthic biodiversity research. *Oceanis* **19**:5-24.
- Lamshead, P. J. D. 1994. The impact of disturbance on measurements of availability in marine nematode populations. *Vie et milieu* **44**:21-27.
- Lamshead, P. J. D. and G. Boucher. 2003. Marine nematode deep-sea biodiversity – hyperdiverse or hype? *Journal of Biogeography* **30**:475-485.
- Lamshead, P. J. D., J. B. Caroline, J. F. Timothy, J. M. Nicola, R. S. Craig, E. H. Lawrence, and T. John. 2002. Latitudinal diversity patterns of deep-sea marine nematodes and organic fluxes : a test from the central equatorial Pacific. *Marine Ecology Progress Series* **236**:129-135.
- Lamshead, P. J. D. and M. Hodda. 1994. The impact of disturbance on measurements of variability in marine nematode populations. *Vie et milieu* **44**:21-27.
- Lamshead, P. J. D. and H. M. Platt. 1988. Analysing disturbance with the Ewens/Caswell neutral model: Theoretical review and practical assessment. *Marine Ecology Progress Series* **43**:31-41.
- Lamshead, P. J. D., J. Tietjen, T. Ferrero, and P. Jensen. 2000. Latitudinal diversity gradients in the deep sea with special reference to North Atlantic nematodes. *Marine Ecology Progress Series* **194**:159-167.
- Lamshead, P. J. D., J. Tietjen, A. Glover, T. Ferrero, D. Thistle, and A. J. Gooday. 2001. Impact of large-scale natural physical disturbance on the diversity of deep-sea North Atlantic nematodes. *Marine Ecology Progress Series* **214**:121-126.
- Lampadariou, N., A. Tselepides, and E. Hatziyanni. 2009. Deep-sea meiofaunal and foraminiferal communities along a gradient of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. *Scientia Marina* **73**:337-345.

- Levin, L. A., R. J. Etter, M. A. Rex, A. J. Gooday, C. R. Smith, J. Pineda, C. T. Stuart, R. R. Hessler, and D. Pawson. 2001. Environmental influences on regional deep-sea species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* **32**:51-93.
- Levin, L. A., C. L. Huggett, and K. F. Wishner. 1991. Control of deep-sea benthic community structure by oxygen and organic-matter gradients in the eastern Pacific Ocean. *Journal of Marine Research* **49**:763-800.
- Müller, P. J. 1977. CN ratios in Pacific deep-sea sediments: Effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **41**:765-776.
- Müller, P. J. and E. Suess. 1979. Productivity, sedimentation rate, and sedimentary organic matter in the oceans. I. Organic carbon preservation. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers* **26**:1347-1362.
- Meyers, S. P., W. A. Feder, and K. M. Tsue. 1963. Nutritional Relationships among Certain Filamentous Fungi and a Marine Nematode. *Science (New York, N.Y.)* **141**:520-522.
- Miljutin, D., G. Gad, M. Miljutina, V. Mokievsky, V. n. Fonseca-Genevois, and A. M. Esteves. 2010. The state of knowledge on deep-sea nematode taxonomy: how many valid species are known down there? *Marine Biodiversity* **40**:143-159.
- Miljutina, M., D. Miljutin, R. Mahatma, and J. Galéron. 2010. Deep-sea nematode assemblages of the Clarion-Clipperton Nodule Province (Tropical North-Eastern Pacific). *Marine Biodiversity* **40**:1-15.
- Mokievskii, V., A. Udalov, and A. Azovskii. 2004. On the Quantitative Distribution of Meiobenthos on the Shelf of the World Ocean. *Oceanology* **44**(1):99-109.
- Mokievskii, V., A. Udalov, and A. Azovskii. 2007. Quantitative distribution of meiobenthos in deep-water zones of the World Ocean. *Oceanology* **47**:797-813.
- Murrell, M. C. and J. W. Fleeger. 1989. Meiofauna abundance on the Gulf of Mexico continental shelf affected by hypoxia. *Continental Shelf Research* **9**:1049-1062.
- Netto, S. A., F. Gallucci, and G. F. C. Fonseca. 2005. Meiofauna communities of continental slope and deep-sea sites off SE Brazil. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **52**:845-859.
- Pequegnat, W. E., B. J. Gallaway, and L. H. Pequegnat. 1990a. *Aspects of the Ecology of the Deep-water Fauna of the Gulf of Mexico*. Oxford University Press.
- Pequegnat, W. E., B. J. Gallaway, and L. H. Pequegnat. 1990b. *Aspects of the Ecology of the Deep-water Fauna of the Gulf of Mexico*. *American Zoologist* **30**:45-64.
- Pfannkuche, O. 1993. Benthic response to the sedimentation of particulate organic matter at the BIOTRANS station, 47°N, 20°W. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **40**:135-149.

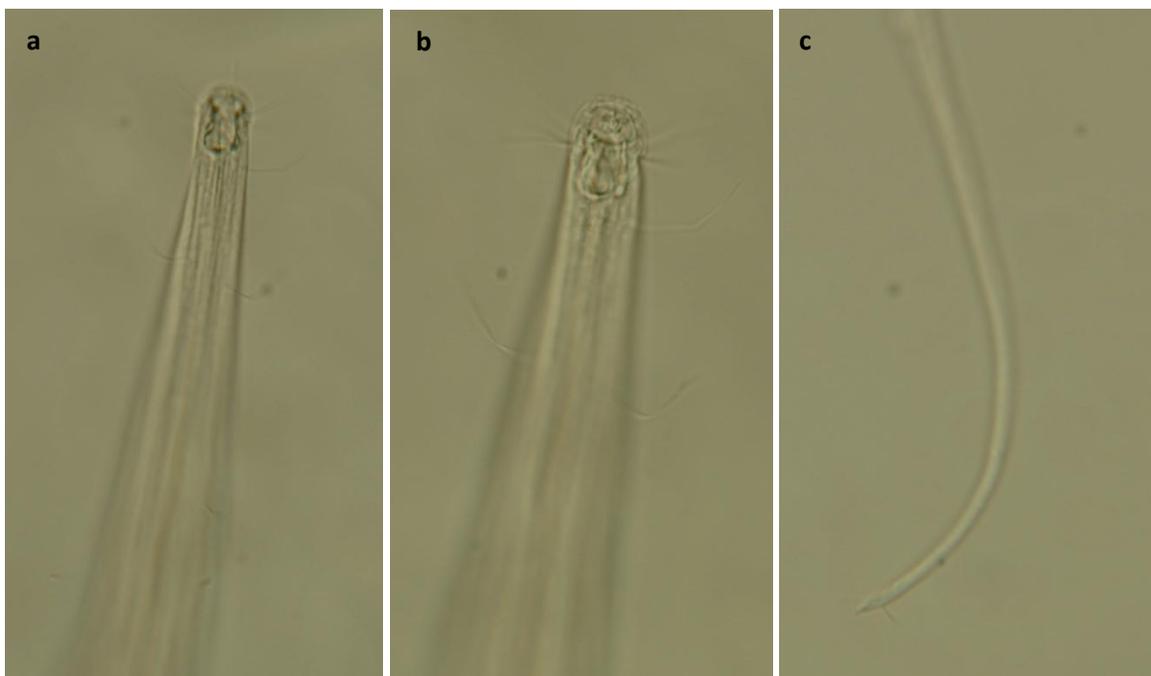
- Pike, J., J. M. Bernhard, S. G. Moreton, and I. B. Butler. 2001. Microbioirrigation of marine sediments in dysoxic environments: Implications for early sediment fabric formation and diagenetic processes. *Geology* **29**:923-926.
- Platt, H. M. and R. M. Warwick. 1983. *Freeliving Marine Nematodes: Part 1. British Enoplids*. Cambridge. Univ. Press.
- Platt, H. M. and R. M. Warwick. 1988. *Freeliving Marine Nematodes: Part II. British Chromadorida*. Brill.
- Rex, M. A., C. T. Stuart, and R. J. Etter. 2001. Do deep-sea nematodes show a positive latitudinal gradient of species diversity? The potential role of depth. *Marine Ecology Progress Series* **210**:297-298.
- Rex, P. M. A. and P. R. J. Etter. 2010. *Deep-Sea Biodiversity: Pattern and Scale*. Harvard University Press.
- Rojas, N. and N. Silva. 2005. Early diagenesis and vertical distribution of organic carbon and total nitrogen in recent sediments from southern Chilean fjords (Boca del Guafo to Pulluche Channel). *Investigaciones marinas* **33**:183-194.
- Rowe, G. T., C. Wei, C. Nunnally, R. Haedrich, P. Montagna, J. G. Baguley, J. M. Bernhard, M. Wicksten, A. Ammons, E. E. Briones, Y. Soliman, and J. W. Deming. 2008. Comparative biomass structure and estimated carbon flow in food webs in the deep Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **55**:2699-2711.
- Sanders, H. L. 1968. Marine Benthic Diversity: A Comparative Study. *The American Naturalist* **102**:243-282.
- Sharma, J., J. G. Baguley, P. A. Montagna, and G. T. Rowe. 2012. Assessment of Longitudinal Gradients in Nematode Communities in the Deep Northern Gulf of Mexico and Concordance with Benthic Taxa. *International Journal of Oceanography* **2012**:15.
- Shimanaga, M., H. Kitazato, and Y. Shirayama. 2000. Seasonal Patterns of Vertical Distribution between Meiofaunal Groups in Relation to Phytodetritus Deposition in the Bathyal Sagami Bay, Central Japan. *Journal of Oceanography* **56**:379-387.
- Shirayama, Y. 1984. The abundance of deep sea meiobenthos in the Western Pacific in relation to environmental factors. *Oceanologica acta* **7**:113-121.
- Shirayama, Y. and S. Kojima. 1994. Abundance of deep-sea meiobenthos off Sanriku, Northeastern Japan. *Journal of Oceanography* **50**:109-117.
- Soetaert, K. and C. Heip. 1995. Nematode assemblages of deep-sea and shelf break sites in the North Atlantic and Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series* **125**:171-183.
- Soetaert, K., C. Heip, and M. Vincx. 1991. Diversity of nematode assemblages along a Mediterranean deep-sea transect. *Marine Ecology Progress Series* **75**:275-282.

- Soetaert, K., P. M. J. Herman, and J. J. Middelburg. 1996. A model of early diagenetic processes from the shelf to abyssal depths. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **60**:1019-1040.
- Soetaert, K., A. Muthumbi, and C. Heip. 2002. Size and shape of ocean margin nematodes: morphological diversity and depth-related patterns. *Marine Ecology Progress Series* **242**:179-193.
- Soetaert, K., J. Vanaverbeke, C. Heip, P. M. J. Herman, J. J. Middelburg, A. Sandee, and G. Duineveld. 1997. Nematode distribution in ocean margin sediments of the Goban Spur (northeast Atlantic) in relation to sediment geochemistry. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **44**:1671-1683.
- Soltwedel, T. 1997. Meiobenthos distribution pattern in the tropical East Atlantic: indication for fractionated sedimentation of organic matter to the sea floor? *Marine Biology* **129**:747-756.
- Soltwedel, T. 2000. Metazoan meiobenthos along continental margins: a review. *Progress in Oceanography* **46**:59-84.
- Soltwedel, T., O. Pfannkuche, and H. Thiel. 1996. The Size Structure of Deep-Sea Meiobenthos in the North-Eastern Atlantic: Nematode Size Spectra in Relation to Environmental Variables. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **76**:327-344.
- Somerfield, P. J. and R. M. Warwick. 1996. Meiofauna in marine pollution monitoring programmes. A laboratory manual Directorate of Fisheries Research (MAFF),:71.
- Sommer, S. and O. Pfannkuche. 2000. Metazoan meiofauna of the deep Arabian Sea: standing stocks, size spectra and regional variability in relation to monsoon induced enhanced sedimentation regimes of particulate organic matter. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **47**:2957-2977.
- Steyaert, M., N. Garner, D. V. Gansbeke, and M. Vincx. 1999. Nematode communities from the North Sea: environmental controls on species diversity and vertical distribution within the sediment. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **79**:253-264.
- Steyaert, M., P. M. J. Herman, T. Moens, J. Widdows, and M. Vincx. 2001. Tidal migration of nematodes on an estuarine tidal flat (the Molenplaat, Schelde Estuary, SW Netherlands). *Marine Ecology Progress Series* **224**:299-304.
- Thiel, H. 1966. Quantitative Untersuchungen über die Meiofauna des Tiefseebodens. *Veröffentlichungen des Instituts für Meeresforschung in Bremerhaven* **2**:131-148.
- Thiel, H. 1975. The size structure of deep-sea benthos. *International Rev. gesamten Hydrobiol.* **60**:575-606.
- Thiel, H. 1979. Structural Aspects of the Deep-Sea Benthos.
- Thiel, H., O. Pfannkuche, R. Theeg, and G. Schriever. 1987. Benthic Metabolism and Standing Stock in the Central and Northern Deep Red Sea. *Marine Ecology* **8**:1-20.

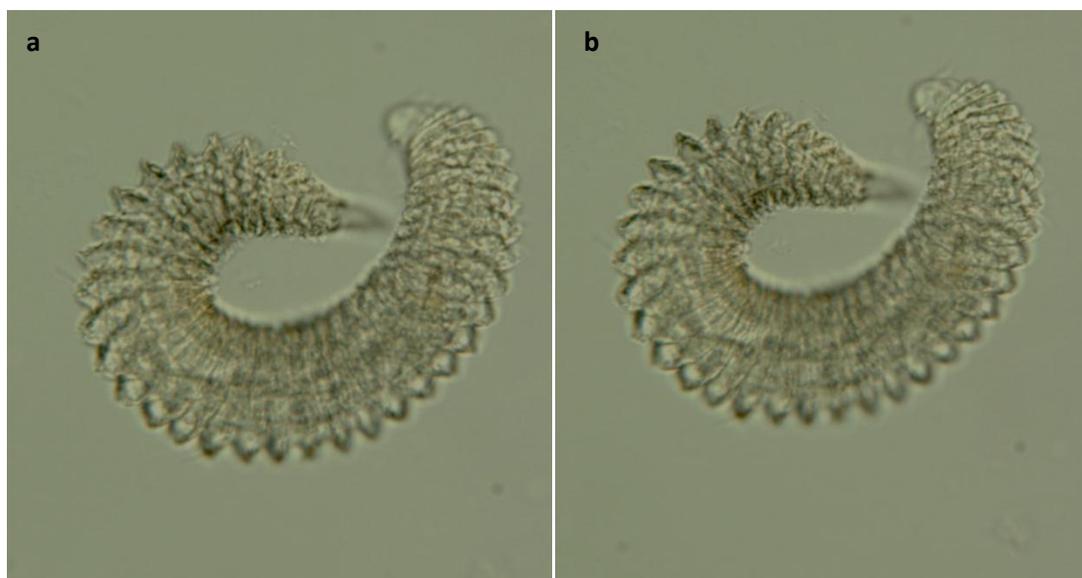
- Thistle, D. 1998. Harpacticoid copepod diversity at two physically reworked sites in the deep sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **45**:13-24.
- Thistle, D. and K. M. Sherman. 1985. The nematode fauna of a deep-sea site exposed to strong near-bottom currents. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers* **32**:1077-1088.
- Tietjen, J. H. 1971. Ecology and distribution of deep-sea meiobenthos off North Carolina. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* **18**:941-957.
- Tietjen, J. H. 1984. Distribution and species diversity of deep-sea nematodes in the Venezuela Basin. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers* **31**:119-132.
- Tietjen, J. H. 1989. Ecology of deep-sea nematodes from the Puerto Rico trench area and Hatteras Abyssal plain. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers* **36**:1579-1594.
- Tietjen, J. H. 1992. Abundance and Biomass of Metazoan Meiobenthos in The Deep Sea. Pages 45-62 in G. T. Rowe and V. Pariente, editors. *Deep-Sea Food Chains and the Global Carbon Cycle*. Springer Netherlands.
- Timm, R. W. and M. T. Franklin. 1969. Two Marine Species of Aphelenchoides. *Nematologica* **15**:370-375.
- Tselepides, A. and N. Lampadariou. 2004. Deep-sea meiofaunal community structure in the Eastern Mediterranean: are trenches benthic hotspots? *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **51**:833-847.
- Tyler, P. A. 2003. *Ecosystems of the Deep Oceans: Ecosystems of the World*. Elsevier Science Limited.
- Udalov, A. A., A. I. Azovsky, and V. O. Mokievsky. 2005. Depth-related pattern in nematode size: What does the depth itself really mean? *Progress in Oceanography* **67**:1-23.
- Vanhove, S., W. Arntz, and M. Vincx. 1999. Comparative study of the nematode communities on the southeastern Weddell Sea shelf and slope (Antarctica). *Marine Ecology Progress Series* **181**:237-256.
- Vanhove, S., H. Vermeeren, and A. Vanreusel. 2004. Meiofauna towards the South Sandwich Trench (750-6300m), focus on nematodes. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **51**:1665-1687.
- Vanhove, S., J. Wittoeck, G. Desmet, B. Van den Berghe, R. L. Herman, R. P. M. Bak, G. Nieuwland, J. H. Vosjan, A. Boldrin, S. Rabitti, and M. Vincx. 1995. Deep-sea meiofauna communities in Antarctica: structural analysis and relation with the environment. *Marine Ecology Progress Series* **127**:65-76.
- Vanreusel, A., L. Clough, K. Jacobsen, W. Ambrose, J. Jutamas, V. Ryheul, R. Herman, and M. Vincx. 2000. Meiobenthos of the central Arctic Ocean with special emphasis on the

- nematode community structure. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **47**:1855-1879.
- Vanreusel, A., G. Fonseca, R. Danovaro, M. C. Da Silva, A. M. Esteves, T. Ferrero, G. Gad, V. Galtsova, C. Gambi, V. Da Fonsêca Genevois, J. Ingels, B. Ingole, N. Lampadariou, B. Merckx, D. Miljutin, M. Miljutina, A. Muthumbi, S. Netto, D. Portnova, T. Radziejewska, M. Raes, A. Tchesunov, J. Vanaverbeke, S. Van Gaever, V. Venekey, T. N. Bezerra, H. Flint, J. Copley, E. Pape, D. Zeppilli, P. A. Martinez, and J. Galeron. 2010. The contribution of deep-sea macrohabitat heterogeneity to global nematode diversity. *Marine Ecology* **31**:6-20.
- Vanreusel, A., M. Vincx, D. Vangansbeke, and W. Gijssels. 1992. Structural-analysis of the meiobenthos communities of the shelf break area in two stations of the Gulf of Biscay (NE Atlantic). *Belgian Journal of Zoology* **122**:185-202.
- Vincx, M., B. J. Bett, A. Dinet, T. Ferrero, A. J. Gooday, P. J. D. Lamshead, O. Pfannkuche, T. Soltwedel, A. Vanreusel, J. H. S. Blaxter, and A. J. Southward. 1994. Meiobenthos of the Deep Northeast Atlantic. Pages 1-88 *Advances in Marine Biology*. Academic Press.
- Warwick, R. M. 1981. The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology. *Marine Pollution Bulletin* **12**:329-333.
- Warwick, R. M. and K. R. Clarke. 1998. Taxonomic distinctness and environmental assessment. *Journal of Applied Ecology* **35**:532-543.
- Warwick, R. M., H. M. Platt, K. R. Clarke, J. Agard, and J. Gobin. 1990. Analysis of macrobenthic and meiobenthic community structure in relation to pollution and disturbance in Hamilton Harbour, Bermuda. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **138**:119-142.
- Wei, C.-L. and G. T. Rowe. 2009. Faunal zonation of large epibenthic invertebrates off North Carolina revisited. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **56**:1830-1833.
- Wei, C. L., G. T. Rowe, G. F. Hubbard, A. H. Scheltema, G. D. F. Wilson, I. Petrescu, J. M. Foster, M. K. Wicksten, M. Chen, R. Davenport, Y. Soliman, and Y. Wang. 2010. Bathymetric zonation of deep-sea macrofauna in relation to export of surface phytoplankton production. *Marine Ecology Progress Series* **399**:1-14.
- Wicksten, M. K. and J. M. Packard. 2005. A qualitative zoogeographic analysis of decapod crustaceans of the continental slopes and abyssal plain of the Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **52**:1745-1765.
- Wigley, R. L. and A. D. McIntyre. 1964. Some quantitative comparisons of offshore meiobenthos and macrobenthos south of Martha's Vineyard. *Limnology and Oceanography* **9**(4):485-493.

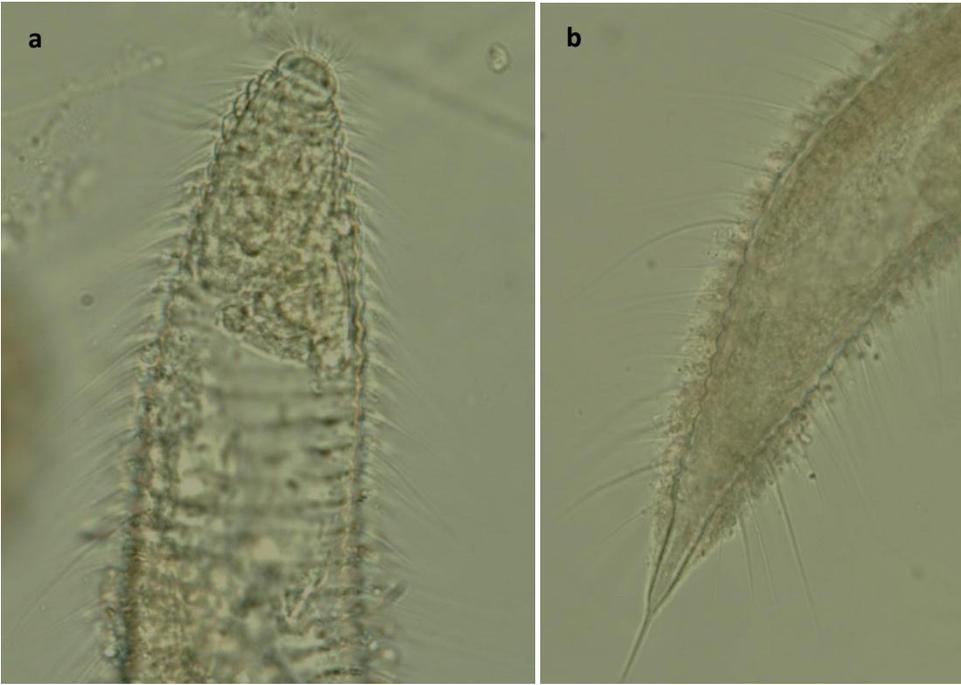
Apéndice



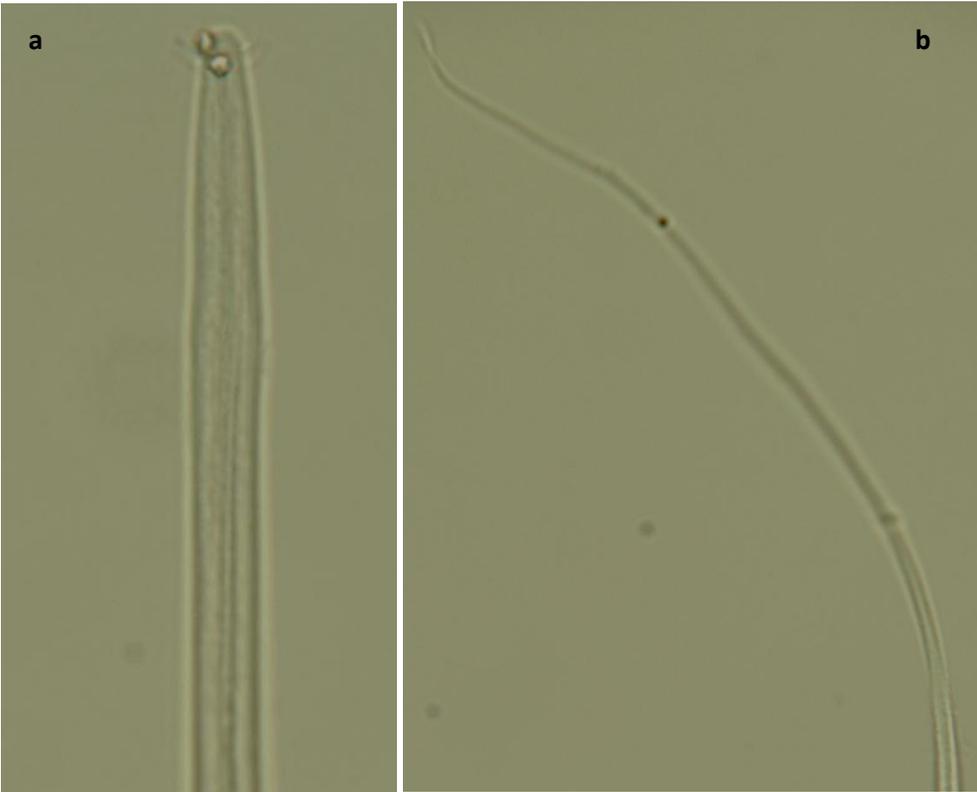
Género *Belbolla* (E3): (a,b) región anterior; (c) cola



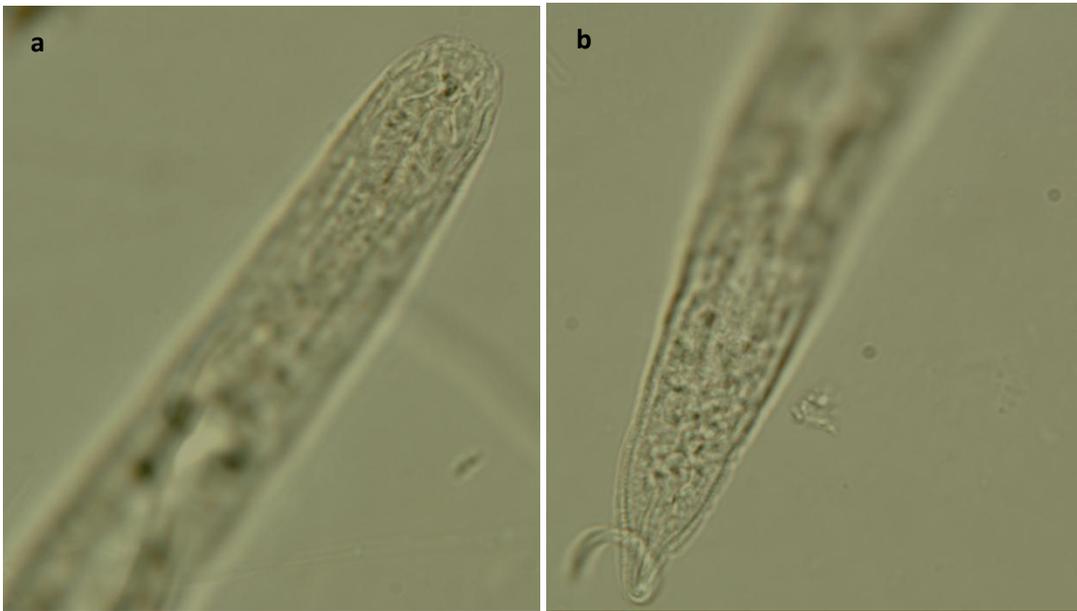
Género *Desmoscolex* (E36): (a,b) largo total



Género *Grefiella* (E40): (a) región anterior; (b) cola



Género *Halalaimus* (E3): (a) región anterior; (b) cola



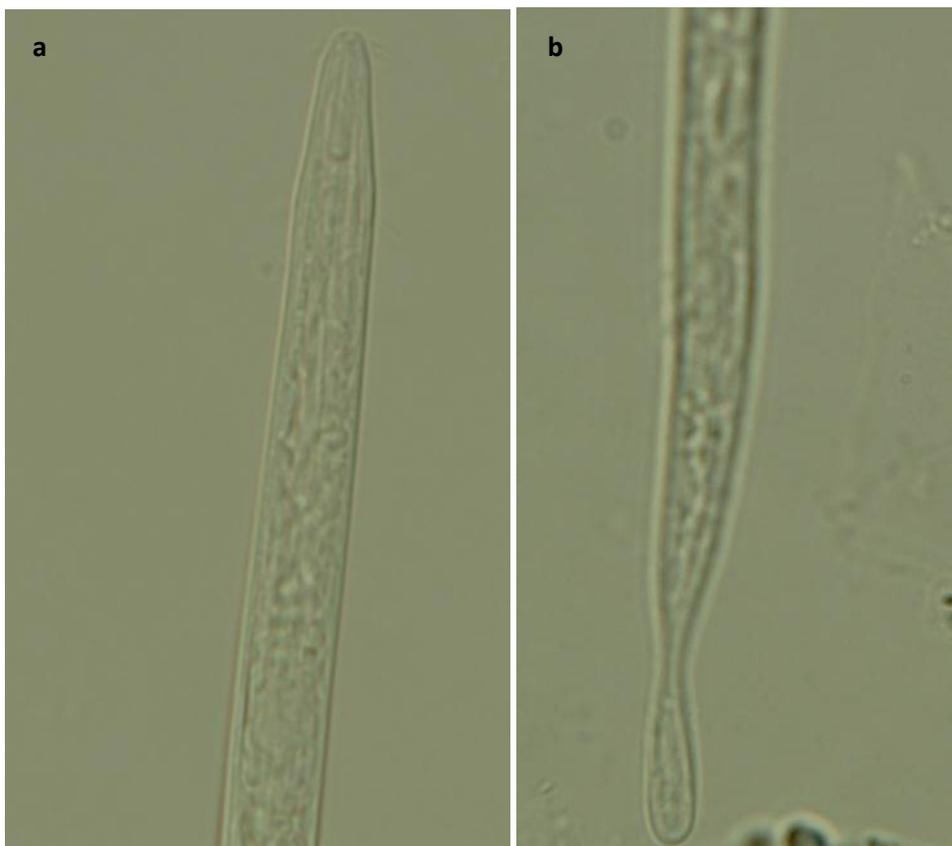
Género *Halicoanolaimus* (E27): (a) región anterior; (b) cola



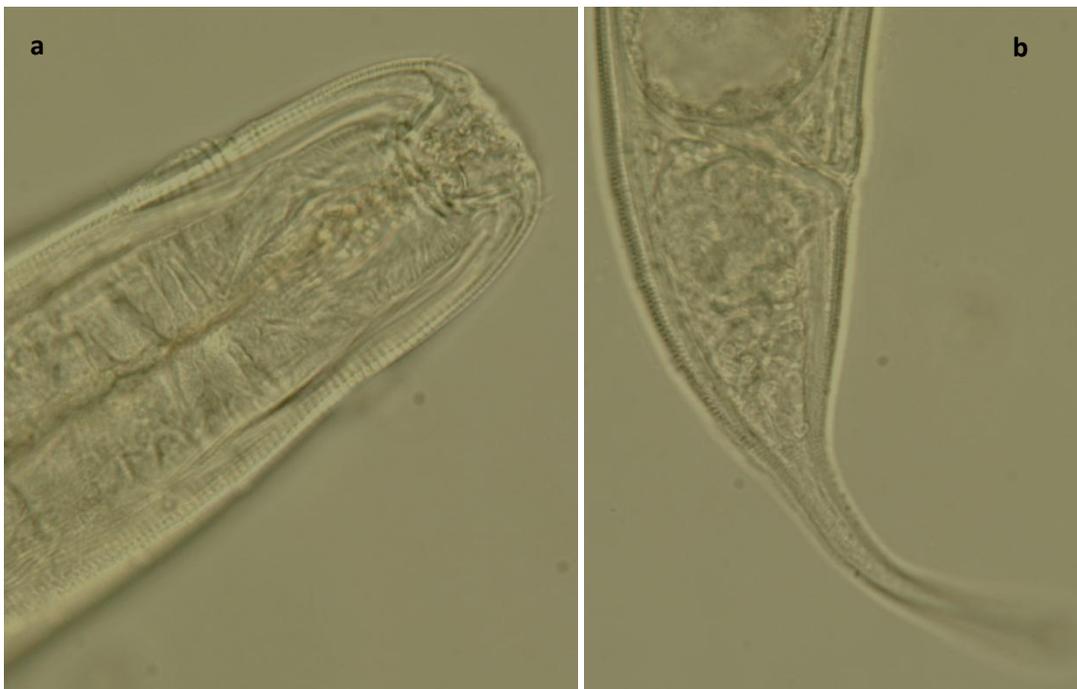
Género *Epsilonema* (E40): (a) región anterior; (b) cola



Género *Psilonema* (E27): (a) región anterior; (b) cola



Género *Oxystomina* (E40): (a) región anterior; (b) cola



Género *Endelophos* (E3): (a) región anterior; (b) cola



Género *Aphelenchoides* (E36): (a) región anterior; (b) cola